

## **Historic, Archive Document**

Do not assume content reflects current  
scientific knowledge, policies, or practices.





Forest Service, U.S.  
Department of  
Agriculture

Rocky Mountain  
Forest and Range  
Experiment Station

Secretaria  
Agricultura y  
Recursos  
Hidraulicos

Instituto Nacional de  
Investigaciones  
Forestales y  
Agropecuarias

General Technical  
Report RM-150

cat/sta

# STRATEGIES FOR CLASSIFICATION AND MANAGEMENT OF NATIVE VEGETATION FOR FOOD PRODUCTION IN ARID ZONES



## ESTRATEGIAS DE CLASIFICACION Y MANEJO DE VEGETACION SILVESTRE PARA LA PRODUCCION DE ALIMENTOS EN ZONAS ARIDAS



October 12-16, 1987  
Tucson, Arizona

JUN 1 '88

USDA  
AGRIC. LIBRARY  
RECEIVED



Received by: JKB  
/ Indexing Branch





# **Strategies For Classification and Management of Native Vegetation For Food Production in Arid Zones**

## **ESTRATEGIAS DE CLASIFICACIÓN Y MANEJO DE VEGETACIÓN SILVESTRE PARA LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS EN ZONAS ÁRIDAS**

October 12 - 16, 1987  
Tucson, Arizona

### **Technical Coordinators:**

✓ Earl F. Aldon  
Carlos E. Gonzales Vicente  
✓ William H. Moir

### **Cosponsors**

Mexico:  
Subsecretaría Forestal, a través del  
Instituto Nacional de Investigaciones  
Forestales y Agropecuarias

United States:  
Rocky Mountain Forest and Range  
Experiment Station, and Southwestern  
Region, Forest Service, U.S.  
Department of Agriculture

Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station  
Fort Collins, Colorado

#### ABSTRACT

Aldon Earl F., Gonzales Vicente, Carlos E., Moir, William H., Co-editors. 1987. Strategies for Classification and Management of Native Vegetation for Food Production in Arid Zones: symposium proceedings; 1987 October 12-16; Tucson, Arizona. Gen. Tech. Rep. RM-150. Fort Collins, CO : U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station: 1987. 257 p.

These proceedings contain 44 papers presented as part of a continuing cooperative effort in forestry and related resources between Mexico and the U. S. Sessions were held on arid land classification, sampling techniques, utilization of native plants, soil management, desertification, agrosilvicultural systems and watershed management.

Papers are in the language of the author (Spanish or English) with an abstract in the other language.

Keywords: Arid land plants, desert agriculture, desertification.

#### RESUMEN

Aldon, Earl F., González Vicente, Carlos E., Moir, William H., Co-editores. 1987. Estrategias para la clasificación y el manejo de vegetación nativa para la producción de alimentos en zonas áridas: Memoria del Simposio; del 12 al 16 de Octubre de 1987; Tucson, Arizona. Gen. Tech. Rep. RM-150. Fort Collins, CO : Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los E.U.A., Estación Experimental Forestal y de Manejo de las Montañas Rocallosas. 257 p.

Esta memoria contiene 44 ponencias presentadas como parte de un esfuerzo continuo de cooperación sobre Dasonomía y sus recursos asociados entre México y Estados Unidos de América. Las sesiones versaron sobre clasificación de zonas áridas, técnicas de muestreo, utilización de plantas nativas, manejo de suelos, desertificación, sistemas agrosilviculturales y manejo de cuencas.

Las ponencias se presentan en el idioma del autor (español ó inglés) con un resumen en el otro idioma.

Palabras para codificación: Plantas de zonas áridas, agricultura del desierto, desertificación.

## PREFACIO

En 1981 el Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de Estados Unidos de América y la Subsecretaría Forestal de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos de México, firmaron un plan de cooperación para intercambiar información que permitiera mejorar la capacidad profesional y técnica de los científicos de ambos países. El plan incluye la organización de simposios, el primero de ellos se realizó en Saltillo, Coahuila, México en 1985.

Estrategias para la Clasificación y Manejo de la Vegetación Nativa para la Producción de Alimentos en Zonas Áridas fue el segundo simposio, el cual se llevó a cabo en Tucson, Arizona, E.U.A. Las ponencias presentadas durante los tres días del evento, con un día dedicado a un viaje de campo al Área Experimental de Santa Rita y a la de la Cuenca Experimental de Walnut. Mas de 130 científicos, técnicos y administradores-participaron en este simposio. Este informe técnico general incluye las ponencias presentadas en el idioma del autor (inglés o español) con un resumen al final en el otro idioma.

Las reuniones internacionales requieren de una preparación cuidadosa y se involucra a mucha gente. Se dió reconocimiento por el éxito del simposio en Tucson a: Avelino B. Villa-Salas y Heriberto Parra Hake del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, a George Garcia, Bob Partido, Reggie Fletcher, Bob Hamre y Liz García-Sánchez del Servicio Forestal del USDA. Carlos González fue la contraparte en México para la organización de la reunión y la selección de ponencias. Todos los trabajos que se presentaron representan la opinión de sus autores, quienes son responsables de sus puntos de vista, preparación de manuscritos y edición.

## Foreword

In 1981, the USDA Forest Service and SARH Sub-secretaría Forestal de Mexico signed a plan of cooperation to exchange information to improve the professional and technical capabilities of scientists in both countries. The plan included sponsorship of symposia, the first of which was held in Saltillo Mexico in 1985.

"Strategies for Classification and Management of Native Vegetation for Food Production in Arid Zones" was the second symposium held October 12-16, 1987 at Tucson, Arizona. Papers were presented during this three day meeting with one day devoted to a field trip to the Santa Rita Experimental Range and the Walnut Gulch Experimental Watershed. Over 130 scientists, technicians, and administrators attended the symposium. This General Technical Report includes papers presented in the language of the author (English or Spanish) with a summary at the end of the proceedings in the other language.

International meetings require considerable preparation and the involvement of many people. Recognition for the successful symposium in Tucson must be given to Avelino B. Villa-Salas and Heriberto Parra-Hake from the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Y Agropecuarias, and George Garcia, Bob Partido, Reggie Fletcher, Bob Hamre, and Liz Garcia-Sanchez from the USDA Forest Service. All the papers presented represent the opinion of individual authors, who were responsible for their own peer review, manuscript preparation, and editing.

EARL F. ALDON, CARLOS GONZALES, AND WILL MOIR, Co-Editors.





Registering



Listening



Translating



Observing



"Raining"



Socializing



Earl Aldon



Carlos Gonzales



Charles Loveless



Will Moir



Sotero Muniz

## Contents      INDICE

	Page
<b>Keynote Address      PALABRAS DE APERTURA</b>	
Halophytic Food Crops for Arid Lands .....	1
CULTIVO DE HALOFITAS ALIMENTICIAS DE LAS ZONAS ARIDAS .....	(245)
<i>James W. O'Leary</i>	
LA IMPORTANCIA DE LAS PLANTAS SILVESTRES PARA LA PRODUCCION DE ALIMENTOS EN MEXICO .....	5
The Importance of Native Plants to Food Production in Mexico .....	(251)
<i>Carlos E. González Vicente</i>	
<b>Arid Land Classification      CLASIFICACION DE ZONAS ARIDAS</b>	
An Ecological Approach to Classifying Semiarid Plant Communities .....	9
UN ENFOQUE ECOLOGICO PARA CLASIFICAR LAS COMUNIDADES DE PLANTAS SEMIARIDAS .....	(245)
<i>Richard E. Francis and Earl F. Aldon</i>	
A Hierarchical Classification of Landforms: Some Implications for Understanding Local and Regional Vegetation Dynamics .....	15
UNA CLASIFICACION JERARQUICA DE LAS FORMAS DE TERRENO: ALGUNAS IMPLICACIONES PARA COMPRENDER LA DINAMICA DE LA VEGETACION LOCAL Y REGIONAL .....	(245)
<i>Steven M. Wondzell, Gary L. Cunningham, and Dominique Bachelet</i>	
A Forest Habitat Type Classification of Southern Arizona and Its Relationship to Forests of the Sierra Madre Occidental of Mexico .....	24
CLASIFICACION DE UN TIPO DE HABITAT FORESTAL EN EL SUR DE ARIZONA Y SU RELACION CON LOS BOSQUES DE LA SIERRA MADRE OCCIDENTAL DE MEXICO .....	(245)
<i>Esteban H. Muldavin and Robert L. DeVelice</i>	
<b>Sampling and Inventory Techniques      TECNICAS DE INVENTARIOS Y MUESTREOS</b>	
A Research Strategy for Ecological Survey: Floristics and Land Use in the Tamaulipan Thornscrub, North-Eastern Mexico .....	32
UNA ESTRATEGIA DE INVESTIGACION PARA INVENTARIOS ECOLOGICOS: FLORISTICOS Y DE USO DE SUELO EN EL MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO, NORESTE DE MEXICO .....	(246)
<i>Nick Reid, Mark Stafford Smith, Peter Beyer-Munzell, and Jorge Marroquin</i>	
MODELO PARA PREDECIR PRODUCCION DE HOJA DE OREGANO ( <i>LIPPIA BERLANDIERI</i> ) EN POBLACIONES NATURALES EN JALISCO, MEXICO .....	39
A Model for Predicting Leaf Production of Oregano ( <i>Lippia berlandieri</i> ) in Wild Stands in Jalisco, Mexico .....	(251)
<i>J. Rafael Cavazos Doria</i>	
MANEJO DE PINOS PINONEROS PARA LOS PINONES .....	45
Pinyon Pine Management for Pinyon Nuts .....	(251)
<i>Elbert L. Little, Jr.</i>	
INDICE DE DIVERSIDAD DE ESPECIES PARA DETERMINAR TAMANO DE MUESTRA EN VEGETACION DE BAJA CALIFORNIA SUR .....	49
Species Diversity Index to Determine Sample Size of Vegetation of Baja California Sur .....	(251)
<i>Ricardo Almeida Martínez, Homero Fraga Mancillas, y Jorge Agúndez</i>	
Forest Inventory and Landsat MSS Vegetation Mapping for Arizona .....	53
INVENTARIO FORESTAL Y MAPEO DE VEGETACION CON EL LANDSAT MSS PARA ARIZONA .....	(246)
<i>J. David Born and Clifford Pearlberg</i>	



## Utilization and Production Management of Native Plants

### UTILIZACION Y MANEJO PARA LA PRODUCCION DE PLANTAS SILVESTRES

Plant Genetic Resources Threatened in North American Deserts: The FLORUTIL Conservation

Project ..... 59

#### RECURSOS GENETICOS DE PLANTAS AMENAZADAS DE LOS

DESIERTOS DE NORTEAMERICA: EL PROYECTO DE CONSERVACION FLORUTIL .... (246)

*Gary P. Nabhan, Wendy Hodgson, and Luis Hernandez*

Conservation and Development of Food and Medicinal Plants in the Sierra Tarahumara,  
Chihuahua, Mexico ..... 66

#### CONSERVACION Y DESARROLLO DE PLANTAS ALIMENTICIAS Y MEDICINALES

EN LA SIERRA TARAHUMARA, CHIHUAHUA, MEXICO ..... (246)

*Robert Bye, Noé Meres Cruz, and Carmen Cecilia Hernández Zacarias*

#### INTRODUCCION AL ESTUDIO DE LAS PLANTAS ALIMENTICIAS

DE BAJA CALIFORNIA SUR ..... 71

Introduction to the Study of Edible Plants of Baja California Sur ..... (251)

*Heriberto Parra H.*

PRODUCCION COMERCIAL DE CACTACEAS AMENAZADAS EN ZONAS ARIDAS ..... 78

Commercial Production of Endangered Cacti in Arid Zones ..... (252)

*Guadalupe Malda y Jorge Jimenez*

#### EVALUACION DE LA VARIACION EN FORMAS DE NOPAL (*OPUNTIA* SPP)

TUNERO EN LA ZONA CENTRO DE MEXICO ..... 82

Evaluation of Prickly Pear (*Opuntia* spp) Form and Variation in Central Mexico ..... (252)

*Eulogio Pimienta Barrios, Adriana Delgado Alverado y Ricardo Mauricio Leguizano*

#### DIAGNOSTICO DE LA PAPITA GUERA (*SOLANUM* SPP) EN EL ALTIPLANO

POTOSINO ZACATECANO, MEXICO ..... 87

The Distribution of Native White Potato (*Solanum* spp) in the Potosinan-Zacatecan Highlands  
of Mexico ..... (252)

*Soledad Hernández Jabalera*

Increasing Productivity in the Matorral of Northeastern Mexico: Domestication of Ten Native

Multipurpose Tree Species ..... 90

#### INCREMENTO EN LA PRODUCTIVIDAD DEL MATORRAL DEL NOROESTE

DE MEXICO: DOMESTICACION DE DIEZ ESPECIES ARBOREAS DE USO MULTIPLE .... (247)

*R. Foroughbakhch, R. Peñaloza, and H. Stienen*

#### MANEJO Y COMERCIALIZACION DE LA LECHUGILLA EN ZONAS ARIDAS

DE TAMAULIPAS ..... 99

Management and Commercialization of Lechugilla in the Arid Zones of Tamaulipas, Mexico ..... (252)

*Luis Hernández Sandoval y Jorge Jiménez Pérez*

#### Soil Management MANEJO DE SUELOS

Revised Universal Soil Loss Equation for Western Rangelands ..... 104

#### REVISION DE LA ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO PARA

LOS AGOSTADEROS DEL OESTE ..... (247)

*M. A. Weltz, K. G. Renard, and J. R. Simanton*

Nitrogen Enrichment Effects on Vegetation of a Northern Chihuahuan Desert Landscape ..... 112

#### EFFECTOS DEL ENRIQUECIMIENTO DE NITROGENO EN LA VEGETACION

DE UNA ZONA DEL DESIERTO CHIHUAHUENSE ..... (247)

*Joe M. Cornelius and Gary L. Cunningham*

#### CORRECCION DE TORRETERAS PARA LA PRODUCCION DE FORRAJES

EN ZONAS ARIDAS ..... 117

Water Harvesting for Forage Production in Arid Lands ..... (252)

*Carlos A. Berlanga Reyes*

MANEJO DE SUELOS SALINOS Y SALINO-SODICOS ..... 121

Management of Saline and Sodic-Saline Soils ..... (252)

*Gustavo J. Lara Guajardo*

## Desertification DESERTIFICACION

Overpopulation, Desertification, Famine .....	128
SOBREPOBLACION, DESERTIFICACION, HAMBRE .....	(247)
<i>M. Anaya Garduño</i>	
A Strategy for Reversing Desertification .....	131
UNA ESTRATEGIA PARA REVERTIR LA DESERTIFICACION .....	(248)
<i>Champe Green</i>	
Reversal of Desertification on the Low-Shrub Cold Desert .....	138
COMBATE DE LA DESERTIFICACION EN LOS DESIERTOS FRIOS DE ARBUSTOS BAJOS ..	(248)
<i>Warren P. Clary and Ralph C. Holmgren</i>	
How Desertification Affects Nitrogen Limitation of Primary Production on Chihuahuan Desert Watersheds .....	143
COMO LA DESERTIFICACION AFECTA LA LIMITACION DE NITROGENO EN LA PRODUCCION PRIMARIA DE LAS CUENCAS DESERTICAS CHIHUAHUENSES ..	(248)
<i>Walter G. Whitford, James F. Reynolds, and Gary L. Cunningham</i>	

## Agro-Silvicultural Systems SISTEMAS AGROSILVOPASTORILES

A Regional Center for New Crops and Agrisystems for Dry Lands in Mexico .....	154
UN CENTRO REGIONAL PARA NUEVOS CULTIVOS Y AGROSISTEMAS EN AREAS SECAS DE MEXICO .....	(248)
<i>Kennith E. Foster and Robert G. Varady</i>	
SISTEMA INTEGRAL DE PRODUCCION AGROPECUARIA EN TEMPORAL EN EL LLANO DE AGUASCALIENTES, MEXICO .....	160
Integrated System of Seasonal Livestock and Agriculture Production on the Plain of Aguascalientes, Mexico .....	(253)
<i>S. Hernández, J. Andrade, R. Claverán, F. Gutierrez, L. M. Macias, S. Martín del Campo, R. Ochoa, M. Tiscareño, A. Torres, A. Valdez, y R. Zapata</i>	
MANEJO ECOLOGICO DE UN BOSQUE DE PINOS PINONEROS EN TAMAULIPAS .....	164
Ecological Management in a Pinyon Pine Forest in Tamaulipas .....	(253)
<i>Humberto Suzán Azpiri y José Antonio Galarza</i>	
SISTEMAS DE PRODUCCION EN ZONAS ARIDAS: EXPERIENCIA EN LATINOAMERICA .	169
Production Systems in Arid Zones: Latin-American Experience .....	(253)
<i>Lorenzo J. Maldonado Aguirre</i>	
PASTOREO SIMULADO EN TRES ETAPAS VEGETATIVAS DE <i>MUHLENBERGIA</i> <i>PORTERI</i> .....	176
Simulated Grazing in Three Phenological Stages of <i>Muhlenbergia porteri</i> .....	(253)
<i>Ricardo Almeida Martínez y Gary B. Donart</i>	
Converting Forage to Food with Cattle on the Santa Rita Experimental Range .....	179
TRANSFORMACION DEL FORRAJE EN ALIMENTOS A TRAVES DEL PASTOREO EN LA ESTACION EXPERIMENTAL DE SANTA RITA .....	(249)
<i>S. Clark Martin</i>	
Opportunities for Multiple Use Values in the Encinal Oak Woodlands of North America .....	182
OPORTUNIDADES PARA VALORAR EL USO MULTIPLE EN LOS ENCINARES DE NORTEAMERICA .....	(249)
<i>Peter F. Ffolliott and D. Phillip Guertin</i>	
Strategies for Enhanced Production of Beef and Jojoba on Northern Baja California Rangelands .....	190
ESTRATEGIAS PARA EL AUMENTO DE PRODUCCION DE CARNE Y JOJOBA EN LOS AGOSTADEROS DE BAJA CALIFORNIA NORTE .....	(249)
<i>Alvin L. Medina and Jorge Sepulveda Betancourt</i>	



## **Watershed Management    MANEJO DE CUENCAS HIDROLOGICAS**

An Analysis of Runoff and Sediment Yield from Natural Rainfall Plots in the Chihuahuan Desert . . . .	196
UN ANALISIS DEL ESCURRIMIENTO Y LA GENERACION DE SEDIMENTO EN PARCELAS CON LLUVIA NATURAL EN EL DESIERTO CHIHUAHUENSE . . . . .	(249)
<i>Susan B. Bolin and Tim J. Ward</i>	
PROPUESTA METODOLOGICA PARA DETERMINAR LA RELACION AREA-SIEMBRA-ESCURRIMIENTO EN CULTIVOS DE TEMPORAL . . . . .	201
A Method to Determine the Relation of Water Harvesting Area to Planting Area on Seasonal Crops . . .	(253)
<i>José Villanueva Díaz, Ignacio Sánchez Cohen, y Hugo A. Velasco Molina</i>	
POTENCIAL HIDRICO DIURNO Y ANUAL DE <i>PINUS CEMBROIDES</i> Y <i>PINUS DISCOLOR</i> EN LAS SERRANIAS MERIDIONALES DE SAN LUIS POTOSI . . . . .	207
Daily and Annual Water Potential of <i>Pinus cembroides</i> and <i>Pinus discolor</i> in the San Luis Potosi Southern Mountain Range . . . . .	(254)
<i>Héctor M. Benavides Meza y Edmundo García Moya</i>	
A Baseline of Soil Erosion and Vegetation Monitoring in Desert Grasslands: Chihuahua, Texas, and New Mexico . . . . .	214
BASES PARA LA EVALUACION DE LA EROSION DEL SUELO Y DE LA VEGETACION EN LOS PASTIZALES DESERTICOS DE CHIHUAHUA, TEXAS, Y NUEVO MEXICO . . . . .	(250)
<i>John A. Ludwig and William H. Moir</i>	
Design and Operation of a Water-Harvesting Agrisystem . . . . .	221
DISEÑO Y OPERACION DE UN AGROSISTEMA DE COSECHA DE AGUA . . . . .	(250)
<i>Martin M. Karpiscak, Kenneth F. Foster, and R. Leslie Rawles</i>	
MANEJO INTEGRADO DE LA CUENCA HIDROLOGICA "EL PLATEADO" . . . . .	225
Integrated Management in the Watersheds, "El Plateado" . . . . .	(254)
<i>Ramón Claverán A., Carlos Sánchez B., Susana Paulín W., y Abraham de Alba A.</i>	

## **Closing Session    CEREMONIA DE CLAUSURA**

Using Natural Desert Ecosystems as Models for Agroforestry: The Gray, Spiney Revolution . . . . .	232
USO DE ECOSISTEMAS DESERTICOS NATURALES COMO MODELS PARA AGROSILVICULTURA: REVOLUTION ESPINOSA GRIS . . . . .	(250)
<i>Gary Paul Nabhan</i>	

## **Additional Papers    PONENCIAS ADICIONALES**

BALANCE HIDRICO EN MAIZ DE TEMPORAL EN AGUASCALIENTES, MEXICO . . . . .	235
Water Balance on Corn Production with Limited Natural Rainfall . . . . .	(254)
<i>Miguel Angel Martínez Gamiño</i>	
ENSAYO DE OCHO CLONES DE NOPAL TUNERO EN AGUASCALIENTES, MEXICO . . . . .	239
A Study of Eight Prickly Pear Clones in Aguascalientes, Mexico . . . . .	(254)
<i>Francisco Gutiérrez Acosta</i>	
UN SISTEMA DE CAPTACION Y APPROVECHAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA, COMO ALTERNATIVA PARA LA PRODUCCION AGRICOLA EN TEMPORAL DEFICIENTE . . . . .	242
Harvesting and Management of Rainfall as an Alternative for Agricultural Production with Limited Rainfall . . . . .	(254)
<i>Ernesto Martínez Meza</i>	
Spanish Abstracts of Papers in English RESUMEN ESPANOL DE PONENCIAS INGLES . . . . .	245
English Abstracts of Papers in Spanish . . . . .	251
RESUMEN INGLES DE PONENCIAS EN ESPANOL Addresses of Attendees . . . . .	255
DIRECCION DE ATENDIENTES . . . . .	255



245

# Halophytic Food Crops for Arid Lands<sup>1</sup>

James W. O'Leary<sup>2</sup>

---

**Abstract.**--Halophyte domestication would make extensive "new" sources of water available for food crop production. High productivity of valuable agricultural commodities from halophytes irrigated with highly saline water has already been demonstrated, but the soil/water management aspects of saltwater agriculture still have not been adequately addressed and may be the major limitation to widespread adoption.

---

## INTRODUCTION

Food crop production will, of necessity, undergo significant changes in the coming years as fresh water becomes increasingly less available for agricultural use. Some of these changes, such as more efficient delivery and application systems for irrigation water, are already evident and will continue to be of importance in the struggle to maintain agricultural productivity high with decreasing supplies of fresh water. Still in the early stages of development but expected to eventually be a widespread practice is multiple use of irrigation water (Rains et al., 1987; Grattan et al., 1987). This will enable two or more crops to be grown with the same amount of fresh water that heretofore has been used to grow one crop.

Not nearly so evident as these engineering-type changes, but of equal, or even greater, need in the future are changes in the crops themselves. Drought resistant varieties of some crops have been developed, which do permit production with less water than that

required for the less resistant varieties. However, there is a feeling that the water requirement might be reduced considerably more if plants native to arid or semi-arid areas could successfully be cultivated as food crops. That is not necessarily so, however. Those plants that persist in areas that receive scant and/or unpredictable rainfall possess attributes enabling them to survive and grow with low water requirements, but the price that usually is paid by those plants for the ability to survive such drought-prone environments is relatively low growth rates. This could impose serious constraints on the utilization of such plants as crops. To a certain extent, survival and growth are opposing strategies. Growth depends on assimilation of carbon dioxide from the atmosphere, which requires open stomates with the inevitable, concomitant water loss from leaves. Survival, on the other hand, depends on reduction of water loss as much as possible, which usually involves stomatal closure and thus the inevitable severe reduction or prevention of carbon dioxide assimilation.

There is yet another alternative, though. If brackish or saline water could be substituted for fresh water, then the crops could conceivably be provided with all the water they need for high productivity, since there are vast stores of such water supplies available in many areas that in other respects are highly suitable for crop production. This, of course, is contingent upon the availability of crop plants with sufficient salt tolerance. Again it can be said that salt tolerant varieties of

---

<sup>1</sup>Paper presented at the USA/Mexico Symposium on Strategies for Classification and Management of Native Vegetation for Food Production in Arid Zones, Tucson, Arizona, October 12-16, 1987.

<sup>2</sup>James W. O'Leary is Plant Physiologist at the Environmental Research Laboratory and Professor of Molecular and Cellular Biology, University of Arizona, Tucson, Arizona.

some crops have been developed that permit production under salinity levels higher than those tolerated by other varieties of the same crops. However, the range of salinities encompassed by all of the present salt tolerant crops is relatively small, and none of them are suitable for use in situations involving irrigation with water having salinity levels of 10 parts per thousand (ppt) or greater. Since most of the water on the planet is even more saline than that, it seems unlikely that there will be any large "new" sources of water for agriculture if we are limited to using our present crops.

There are many plants that thrive at high salinity. They are called halophytes (literally, "salt plants"), and there are more than 1250 species in over 100 families (Aronson, 1985). This provides a large resource from which crop plants could be selected and developed for use in situations where the only water available is highly saline. Modest attempts to do that have been made at various times in the past (O'Leary, 1985), but within the past decade intensive efforts have been mounted in a few places with moderately successful progress so far.

#### HALOPHYTIC FORAGE CROPS

##### Nutritional Value

Some halophytes, such as Atriplex spp., have long been used as forage under rangeland conditions. As a result, those plants have been subjected numerous times to analysis for their feed value (O'Leary, 1987). Many halophytes have been found to have high content of crude protein (6.25 x total N), as well as low fiber content, and other attributes that contribute to their value as forages. Thus, it is not surprising that some of those halophytes have been planted in several areas to replace or supplement the existing vegetation as a means of increasing rangeland productivity.

One of the intrinsic features of halophytic vegetation is high salt content in the tissue, and this poses some constraints on its use as animal feed. Even though the tissue may be highly palatable, digestible, and nutritious, the salt content can limit the total daily consumption, and as a result, the growth rate of the animals can be very low. If the halophytic forage is the only source of food, it may not be sufficient to sustain the animals. Thus, widespread and extensive use of

halophytes as forage/fodder crops likely will require blending or mixing them with other food sources.

##### Productivity

If halophytes are going to be cultivated as crop plants and irrigated with saline water, the productivity will have to be reasonably high, comparable to conventional forage/fodder crops irrigated with freshwater. We have measured productivity of several halophytes when cultivated and irrigated with brackish water (Watson et al., 1987) or seawater (Glenn and O'Leary, 1985). Harvested biomass yields equivalent to 17 tonnes dry weight per hectare have been obtained with some of them, which is comparable to alfalfa yields when irrigated with fresh water. Several of the halophytes tested had poor yields, however, so careful selection will be necessary. Furthermore, in general, native species did better than exotic species (O'Leary et al., 1985).

A substantial part of the dry weight of halophyte leaves is salt. For example, salt may represent 30% of the dry weight in Atriplex when irrigated with saline water, and some other genera may have salt contents as high as 50% of their dry weight (O'Leary, 1987). Thus, the true dry weight of organic matter harvested from those plants is considerably less than the reported yields.

#### HALOPHYTIC SEED CROPS

The salt content of seeds from halophytes is no higher than that of seeds from glycophytes, for good physiological reasons (O'Leary, 1987), no matter how high the salinity of the environment. Thus, halophytic seed crops should have none of the negative features resulting from high salt content as do the halophytic forage crops.

##### Nutritional Value

The potential halophytic seed crops fall largely into two categories. One is the high carbohydrate type of seed, analogous to our present grain crops. Distichlis, or salt grass, has seeds that look similar to wheat and rice, are similar in size, and have similar carbohydrate content. Seeds of this halophyte have a long history of use as human food (Felger, 1979; Doebley, 1984). As a result, it is quite possible that this could become the first major,



intensively cultivated, halophytic food crop.

The other category is oilseed crops. Many halophyte seeds have reasonably high oil and protein contents (O'Leary, 1987), analogous to our present oilseed crops such as soybeans. The attractive feature here is that there are two potential products, the extracted oil and the remaining high protein seed meal that could be used as a feed supplement for animals. Depending on the composition of the extracted oil, it could be valuable as either an industrial oil or as a vegetable oil for human consumption. The seeds of Salicornia have an oil that is high in unsaturated fatty acids, for example, so it should be a potential oilseed crop for human food production. In fact, 70% of the fatty acid content is linoleic acid (Austenfeld, 1986), which ranks Salicornia oil right up there with highly desirable vegetable oils such as safflower oil.

#### Productivity

Most of the halophyte seeds are rather small but the yield per plant is high, so total yield per unit area is fairly high. There are not many values for seed yield from halophytes available in the literature, but from those that are available, it looks like seed yields of approximately a tonne per hectare are possible (O'Leary, 1987).

Thus, it looks like there are some good candidates for use as halophytic seed crops that will produce reasonably good yields of highly desirable seeds when irrigated with saline water.

#### FUTURE PROSPECTS

Ultimately, it would be desirable to genetically improve some selections from the halophyte resource pool in much the same way that we have developed our present crop plants. For example, increase size and/or numbers of seeds or fruits per plant, and change the physical nature of the plant, such as stature and pattern of senescence development, to make the crop easier to harvest. These are long term goals, however, and the decision whether they are worth pursuing may depend largely on how successful we are in pursuing short term goals.

The short term goals are to demonstrate that halophytes can be planted in dense stands like crops, can be mechanically planted and harvested, and will have high enough productivity of

a sufficiently valuable agricultural commodity when irrigated with highly saline water. The biological aspects of halophyte utilization as crops have been adequately addressed so far. It has been revealed that many halophytes have high value forage or seeds, even without genetic improvement, for example, so the prospects are high that there will be high value agricultural commodities from halophytic crops, especially after subjecting them to selection and breeding.

On the other hand, the physical or engineering aspects of growing halophytic crops have not been adequately addressed yet, and it is not easy to predict whether there will be problems revealed that could impose serious constraints on halophytic crop production with highly saline water. For example, we do not know whether agricultural soils can withstand long term application of saline water. Up to now, even when moderately saline water has been used for irrigation, the fields usually are leached sufficiently to prevent salt buildup in the soil. However, if we propose to use irrigation water with a high salinity, even with high leaching rates the steady-state salinity level in the soil will not be less than the salinity level of the irrigation water, unless it rains. Rainfall could be more of a problem than a help, however, in a soil that has been equilibrated with a highly saline irrigation water.

The sudden addition of a reasonable amount of fresh water could disrupt the salt balance enough to seriously affect soil structure and reduce permeability. This concern could impose limitations on where highly saline water irrigation could be safely conducted.

So far, most of the research on saline water irrigation of halophytes has been conducted on highly permeable, saline soils in areas where rainfall during the growing season is extremely low. Thus, most of the potential physical or engineering problems have been avoided while focussing on the biological aspects of the problems. Nevertheless, those areas will have to be addressed before halophytic food crop production with highly saline irrigation water becomes an established part of agriculture practice.

# LITERATURE CITED

- Aronson, James. 1985. Economic halophytes--a global review. pp. 177-188 in *Plants for Arid Lands*, ed. by G. E. Wickens, J. R. Goodin and D. V. Field. 452 p. Allen & Unwin, London.
- Austenfeld, Franz-Arnold. 1986. Nutrient reserves of Salicornia europaea seeds. *Physiol. Plant.* 68:446-450.
- Doebley, J. F. 1984. "Seeds" of wild grasses: a major food of southwestern Indians. *Econ. Bot.* 38:52-64.
- Felger, R. S. 1979. Ancient crops for the twenty-first century. pp. 5-20 in *New Agricultural Crops*, ed. by G. A. Ritchie. \_\_\_\_ p. Westview Press, Boulder, Colorado.
- Glenn, Edward P. and James W. O'Leary. 1985. Productivity and irrigation requirements of halophytes grown with seawater in the Sonoran Desert. *J. Arid Environ.* 9:81-91.
- Grattan, Stephen R., Carol Shennan, Donald M. May, Jeffery P. Mitchell and Richard G. Buran. 1987. Use of drainage water for irrigation of melons and tomatoes. *Calif. Agric.* 41(9&10):27-28.
- O'Leary, James W. 1984. The role of halophytes in irrigated agriculture. pp. 285-300 in *Salinity Tolerance in Plants: Strategies For Crop Improvement*, ed. by Richard C. Staples and Gary H. Toenniesen. 443 p. Wiley-Interscience. N.Y.
- O'Leary, James W. 1987. Saline environments and halophytic crops, in *Arid Lands Today and Tomorrow*, ed. by G. Nabhan and E. Whitehead. (in press).
- O'Leary, J. W., E. P. Glenn and M. C. Watson. 1985. Agricultural production of halophytes irrigated with seawater. *Plant and Soil* 89:311-321.
- Rains, D. William, Sham Goyal, Reina Weyrauch and Andre Lauchli. 1987. Saline drainage water reuse in a cotton rotation system. *Calif. Agric.* 41(9&10):24-26.
- Watson, M. Carolyn, James W. O'Leary and Edward P. Glenn. 1987. Evaluation of Artiplex lentiformis (Torr.) S. Wats. and Atriplex nummularia Lindl. as irrigated forage crops. *J. Arid Environ.* 13: (in press).



# LA IMPORTANCIA DE LAS PLANTAS SILVESTRES PARA LA PRODUCCION DE ALIMENTOS EN MEXICO<sup>1</sup>

Carlos E. González Vicente<sup>2</sup>

---

RESUMEN.- SE PROPORCIONA INFORMACIÓN GENERAL SOBRE LA IMPORTANCIA DE LAS ZONAS ÁRIDAS EN MÉXICO, SU EXTENSIÓN, POBLACIÓN Y POTENCIAL EN CUANTO A PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS A TRAVÉS DE LAS PLANTAS SILVESTRES. SE HACEN NOTAR LAS APORTACIONES DE LAS PLANTAS SILVESTRES DEL DESIERTO A LA DIETA DE LOS MEXICANOS QUE VIVEN EN ELLAS.

---

## INTRODUCCION.

POR SU EXTENSIÓN Y SUS RECURSOS NATURALES, LAS ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS, REPRESENTAN PARA MÉXICO UN POTENCIAL DE GRAN IMPORTANCIA PARA SU DESARROLLO, CONSTITUYÉNDOSE EN UN RETO INMEDIATO SU MEJOR CONOCIMIENTO, CORRECTO MANEJO, APROVECHAMIENTO Y CONSERVACIÓN.

SE ESTIMA QUE LAS ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS DEL PAÍS, CUBREN UNA SUPERFICIE DE 90 MILLONES DE HECTÁREAS, EQUIVALENTES A CASÍ LA MITAD DEL TERRITORIO NACIONAL. ESTAS ÁREAS SE LOCALIZAN PRINCIPALMENTE EN LOS LLAMADOS DESIERTO SONORENSE, DESIERTO CHIHUAHUENSE Y DESIERTO DE BAJA CALIFORNIA. (VILLA SALAS, 1980; Mc GINNIES, 1981).

---

<sup>1</sup>DOCUMENTO PRESENTADO EN EL SIMPOSIO SOBRE ESTRATEGIAS DE CLASIFICACIÓN Y MANEJO DE VEGETACIÓN SILVESTRE PARA LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS EN ZONAS ARIDAS, SERVICIO FORESTAL DE LOS E.U.A. SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRÁULICOS EN MÉXICO, TUCSON, ARIZONA; 12 AL 16 DE OCTUBRE 1987.

<sup>2</sup>CARLOS E. GONZÁLEZ VICENTE ES DIRECTOR DE CAPACITACIÓN Y DIFUSIÓN DEL INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES Y AGROPECUARIAS, SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRÁULICOS. MÉXICO, D. F.

SE ESTIMA QUE EN EL DESIERTO MEXICANO VIVEN CERCA DE 10 MILLONES DE HABITANTES, DE LOS CUALES CERCA DEL 26 PORCIENTO SE CONCENTRA EN LAS 26 PRINCIPALES LOCALIDADES, QUE ESCASAMENTE REPRESENTAN EL 1% DEL TOTAL DE LAS MISMAS. EL 35 PORCIENTO RESTANTE DE LA POBLACIÓN HABITA EN 34 MIL PEQUEÑOS POBLADOS DISPERSOS (SPP. 1983).

LAS ACTIVIDADES AGROPECUARIAS Y FORESTALES, SE CARACTERIZAN POR DESEQUILIBRIOS QUE SE MANIFIESTAN EN LA EXISTENCIA DE DOS TIPOS GENERALES DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN. POR UN LADO, UNA ACTIVIDAD AGRÍCOLA DE RIEGO, ALTAMENTE TECNIFICADA, DIVERSIFICADA, DE CARÁCTER COMERCIAL, EN LA QUE EL 60 PORCIENTO DE LOS PRODUCTORES SON PROPIETARIOS PARTICULARES, CON UN USO INTENSIVO DE INSUMOS QUE GENERAN ALTA PRODUCTIVIDAD. EN CONTRAPARTE, LAS ACTIVIDADES QUE DESARROLLAN LOS PRODUCTORES A NIVELES DE SUBSISTENCIA, CONSISTENTES EN UNA AGRICULTURA DE TEMPORAL QUE SE PRACTICA EN CASI EL 80 PORCIENTO DE LAS TIERRAS DE CULTIVO, UNA GANADERÍA DE CARÁCTER EXTENSIVO EN AGOSTADEROS POBRES Y UNA ACTIVIDAD DE RECOLECCIÓN SILVÍCOLA, QUE GENERAN LOS MÁS BAJOS RENDIMIENTOS A NIVEL NACIONAL (SPP. 1983).

BAJO LAS CONDICIONES ADVERSAS EN QUE VIVEN LOS HABITANTES DE LAS ZONAS DESÉRTICAS, LAS APORTACIONES DE LAS PLANTAS SILVESTRES A LA ALIMENTACIÓN DE SUS HABITANTES, ADQUIEREN ESPECIAL RELEVANCIA. LA ACTIVIDAD DE RECOLECCIÓN SILVÍCOLA, HACE APORTACIONES QUE SE RELACIONAN CON LA ALIMENTACIÓN DE LOS HABITANTES DE LAS ZONAS ÁRIDAS EN FORMA DIRECTA, INDIRECTA Y DE APOYO.

### APORTACIONES DE LAS PLANTAS SILVESTRES A LA ALIMENTACION.

LOS ÁRBOLES, ARBUSTOS Y HIERBAS QUE SE DESARROLLAN EN CONDICIONES SILVESTRES EN LAS ZONAS DESÉRTICAS MEXICANAS, APORTAN ALIMENTOS QUE SE CONSUMEN EN FORMA DIRECTA, APROVECHANDO SUS FRUTOS, SEMILLAS, TALLOS, HOJAS, CORTEZAS, RAÍCES Y FLORES (SFF, 1982).

EL CONSUMO DE UNA GRAN DIVERSIDAD DE PLANTAS SILVESTRES, DEBE CONSIDERARSE COMO UN MECANISMO COMPLEMENTARIO QUE LOS HABITANTES DE LAS ZONAS RURALES HAN DESARROLLADO, Y QUE LES PERMITE INCLUIR EN SU DIETA SUSTANCIAS NUTRITIVAS QUE APORTAN ENERGÍA, PROTEÍNAS, VITAMINAS Y MINERALES. (D. DE VALDIVIA, 1982).

COMO ESPECIES QUE APORTAN ENERGÍA EN LA ALIMENTACIÓN DE LOS HABITANTES DE LAS ZONAS DESÉRTICAS MEXICANAS, PUEDEN IDENTIFICARSE LAS RAÍCES ECULENTAS, ENTRE LAS QUE DESTACA LA "PAPITA GUERA" DEL ALTIPLANO; O BIEN LAS AZÚCARES, GRASAS Y ACEITES VEGETALES Y SUS DERIVADOS ENTRE LOS QUE DESTACAN LOS ALCOHOLES COMO EL "BACANORA", EL "ZOTOL" EL "MEZCAL" QUE SE OBTIENE DE DIVERSAS ESPECIES DEL GENERO AGAVE. (D. DE VALDIVIA, 1982).

SE DISTINGUEN COMO PLANTAS SILVESTRES QUE APORTAN PROTEÍNAS LAS LEGUMINOSAS. ENTRE LAS QUE DESTACA EL "FRIJOL TEPARI", EL MEZQUITE, EL "GUAMUCHIL", LOS "PIÑONES" Y LAS "BELLOTAS DE ENCINO". (D. DE VALDIVIA, 1982).

EL GRUPO DE PLANTAS QUE APORTAN VITAMINAS Y MINERALES ES MUY NUMEROSO, Y DE ÉL PUEDEN DESTA-

CARSE LOS "QUELITES" QUE CONTIENEN HIERRO, LA "UVA SILVESTRE", LA "YUCA", EL "GUAJE", LAS "VERDOLAGAS", EL "GARAMBULLO", LOS "ROMERITOS" Y LAS "TUNAS". (D. DE VALDIVIA, 1982).

LAS PLANTAS, SILVESTRES, TAMBIÉN HACEN APORTACIONES A LA ALIMENTACIÓN EN FORMA INDIRECTA, A TRAVÉS DEL CONSUMO DE ESPECIES FORRAJERAS QUE SIRVEN DE ALIMENTO TANTO A LOS ANIMALES DOMÉSTICOS COMO A LA FAUNA SILVESTRE Y QUE CONSTITUYEN UN ESLABÓN EN LA CADENA TRÓFICA (SFF, 1982). Los FORRAJES DE PLANTAS SILVESTRES, INCLUYEN ESPECIES HERBACEAS, ARBUSTIVAS Y ARBOREAS, DE LAS QUE PRINCIPALMENTE SON CONSUMIDOS LOS FRUTOS, TALLOS Y HOJAS. LA FORMA MÁS GENERALIZADA DE ESTE CONSUMO ES EL RAMONEO O PASTOREO DIRECTO. SON MUCHAS LAS ESPECIES FORRAJERAS Y DE ELLAS SE DESTACAN EL ZACATE NAVAJITA, EL ZACATÓN, LA CEBADILLA, EL ZACATÓN ALCALINO, EL CHAMIZO, EL NOPAL Y EL MEZQUITE.

OTRO GRUPO DE CONTRIBUCIONES DE LAS PLANTAS SILVESTRES A LA ALIMENTACIÓN SON LAS DE CARÁCTER DE APOYO, QUE AUXILIAN DE UNA U OTRA FORMA LA PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE ALIMENTOS. ALGUNOS EJEMPLOS DE ESTAS PLANTAS LOS CONSTITUYEN AQUELLAS EMPLEADAS PARA LA ELABORACIÓN DE HERRAMIENTAS DE MADERA, POSTERÍA, EMPAQUES, CARBÓN Y LEÑA.

COMO FUNCIONES DE APOYO, TAMBIÉN DEBEN MENCIONARSE LAS QUE REALIZAN LAS PLANTAS SILVESTRES EN LA FORMACIÓN Y PROTECCIÓN DEL SUELO, LA CAPTACIÓN E INFILTRACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN Y LAS RELATIVAS A LA PROTECCIÓN Y AL MEJORAMIENTO DEL AMBIENTE (SFF, 1982).

CONVIENE DESTACAR AQUELLAS PLANTAS SILVESTRES PRESENTES EN LAS ZONAS ÁRIDAS QUE SON UTILIZADAS CON PROPÓSITOS MÚLTIPLES, APORTANDO BENEFICIOS EN FORMA DIRECTA, INDIRECTA Y DE APOYO. EJEMPLOS DE ELLAS SON EL MEZQUITE (PROSOPIS spp) EL GUAJE (LEUCAENA spp) QUE NOS BRINDAN LEÑA, VAINAS COMESTIBLES, FORRAJE, MADERA PARA CONSTRUCCIONES RÚSTICAS, POSTES, NITROGENAN EL SUELO Y CONTRIBUYEN A LA PRODUCCIÓN APÍCOLA.



## EL SISTEMA DE RECOLECCIÓN SILVICOLA.

EL APROVECHAMIENTO DE LAS PLANTAS SILVESTRES ÚTILES PARA LA ALIMENTACIÓN EN LAS ZONAS ÁRIDAS DE MÉXICO, SE LLEVA A CABO COMO UNA ACTIVIDAD EXTENSIVA DE RECOLECCIÓN, EN LA QUE PARTICIPAN GRUPOS SOCIALES CON UN ALTO GRADO DE MARGINACIÓN Y ESCASO GRADO DE ORGANIZACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN.

EL DESTINO QUE SE LE DA A LOS PRODUCTOS OBTENIDOS BAJO ESTE SISTEMA, ES EN MAYOR GRADO EL AUTOCONSUMO, Y SOLO EN ALGUNOS CASOS LAS MATERIAS PRIMAS OBTENIDAS SE COMERCIALIZAN A NIVEL REGIONAL, NACIONAL O INTERNACIONAL. UN BUEN EJEMPLO DE ESTE ÚLTIMO CASO LO CONSTITUYEN LA "DAMIANA" (TURNERA DIFFUSA) O EL "ORÉGANO" (LIPPIA spp).

EN LOS PROCESOS DE RECOLECCIÓN Y CORTE DE LOS PRODUCTOS QUE EL HOMBRE OBTIENE DE LAS PLANTAS SILVESTRES EN ESTAS ZONAS EL PRODUCTOR EMPLEA SU PROPIA ENERGÍA, COMPLEMENTÁNDOLA EN OCASIONES CON TRACCIÓN ANIMAL. COMO HERRAMIENTA SE UTILIZA EL HACHA, EL MACHETE, COSTALES, CUERDAS Y SUS PROPIAS MANOS.

LAS ACTIVIDADES DE RECOLECCIÓN SE DESARROLLAN POR GRUPOS SOCIALES CON UNA GRAN DIVERSIDAD DE ESQUEMAS DE ORGANIZACIÓN Y DE TRADICIONES CULTURALES, EN LAS QUE PARTICIPAN TANTO EL JEFE DE LA FAMILIA, COMO LAS MUJERES Y LOS HIJOS. (INIFAP, 1987).

LAS PLANTAS SILVESTRES SE RECOLECTAN EN FORMA EXTENSIVA, BUSCANDO LAS POBLACIONES NATURALES DE LAS ESPECIES DE INTERÉS Y UTILIZANDO COMO APOYO LA TRACCIÓN ANIMAL PARA LOS DESPLAZAMIENTOS Y CONCENTRACIÓN DE LOS PRODUCTOS QUE TIENEN CIERTO GRADO DE INTERCAMBIO Y COMERCIALIZACIÓN. (INIFAP, 1987).

EL APROVECHAMIENTO DE ALGUNAS DE LAS PARTES DE LAS PLANTAS, PRINCIPALMENTE DE FRUTOS, SEMILLAS, TALLOS Y RAÍCES, ALTERA LOS PROCESOS REPRODUCTIVOS Y CONSECUENTEMENTE MERMA LA CAPACIDAD DE REGENERACIÓN DE SUS POBLACIONES, ALEJÁNDOLAS DE LOS NÚCLEOS URBANOS EN LAS REGIONES EN QUE SE DISTRIBUYEN. (INIFAP, 1987).

## PERSPECTIVAS Y ORIENTACIONES FUTURAS.

BASADAS EN LAS TENDENCIAS ACTUALES, LA POBLACIÓN TOTAL DE MÉXICO EN EL AÑO 2000 SERÁ DE CERCA DE 100 MILLONES DE HABITANTES, DE LOS CUALES CERCA DEL 80 PORCIENTO INTEGRARÁN EL COMPONENTE URBANO, LO QUE SIGNIFICA UNA REDUCCIÓN PROPORCIONAL DE LAS PERSONAS DEDICADAS A LAS ACTIVIDADES DE TIPO RURAL. PUEDE ESTIMARSE QUE AL INICIO DEL PRÓXIMO SIGLO, MÁS DE 15 MILLONES DE MEXICANOS VIVIRÁN EN LAS ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS DEL PAÍS, DEMANDANDO CONSIDERABLES CANTIDADES DE ALIMENTOS A PRECIOS ACCESIBLES Y EN CANTIDADES SUFICIENTES. (INIFAP, 1987).

LAS PLANTAS SILVESTRES DEBEN CONSIDERARSE COMO UN COMPLEMENTO QUE PUEDE AUXILIAR A SATISFACER LAS NECESIDADES ALIMENTARIAS DE LA HUMANIDAD. YA SEA APROVECHANDO LAS POBLACIONES NATURALES MEDIANTE UN MANEJO INTENSIVO DE ELLAS, DOMESTICANDO ALGUNAS ESPECIES MÁS PROMISORIAS.

EN RELACIÓN A LOS PROCESOS TRADICIONALES DE APROVECHAMIENTO, DE CONTINUAR LAS TENDENCIAS ACTUALES, SE ESTIMA QUE ALGUNAS ESPECIES ESTARÁN EN LA CATEGORÍA DE AMENAZADAS DE EXTINCIÓN O INCLUSO PODRÁN EXTINGUIRSE. POR OTRA PARTE, LAS TÉCNICAS DE APROVECHAMIENTO MUY PROBABLEMENTE CAMBIARÁN SOFISTICADAMENTE AL INCLUIR HERRAMIENTAS Y EQUIPOS MÁS EFICIENTES, QUE PERMITIRÁN AL HABITANTE DE LAS ZONAS DESÉRTICAS REALIZAR UNA ACTIVIDAD MENOS ARDUA Y MÁS PRODUCTIVA.

ES DE ESPERARSE QUE EL NÚMERO DE ESPECIES SILVESTRES EN APOYO A LA ALIMENTACIÓN Y A LOS VOLÚMENES APROVECHADOS DE ELLAS, CREZCAN PAULATINAMENTE, INCLUYENDO EN LA DIETA DE LAS FAMILIAS MEXICANAS NUEVAS ALTERNATIVAS. ASÍ MISMO, LOS PROCESOS DE ORGANIZACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN, COMERCIALIZACIÓN E INDUSTRIALIZACIÓN, AVANZARÁN PROGRESIVAMENTE, IDENTIFICÁNDOSE INCLUSO MEJORES ALTERNATIVAS DE EXPORTACIÓN DE LAS QUE ACTUALMENTE TIENEN ALGUNAS PLANTAS COMO EL ORÉGANO, LA DAMIANA O LA JOJOBA.

ALGUNAS ORIENTACIONES FUTURAS EN RELACIÓN AL USO DE LAS PLANTAS SILVESTRES ALIMENTICIAS EN LAS ZONAS ÁRIDAS, DEBERÁN CONSIDERAR LOS SIGUIENTES ASPECTOS:

- LAS INSTITUCIONES CIENTÍFICAS Y ACADÉMICAS DEBERÁN REDOBLAR SUS ESFUERZOS PARA LOGRAR UN MEJOR CONOCIMIENTO DE LAS PLANTAS SILVESTRES QUE APOYAN LA ALIMENTACIÓN. EN ESPECIAL LOS ESTUDIOS RELATIVOS A SU CARACTERIZACIÓN, INVENTARIOS, MANEJO, DOMESTICACIÓN Y APROVECHAMIENTO.
- ESPECIAL CUIDADO REVISTEN LOS TRABAJOS ORIENTADOS A REGISTRAR Y RESCATAR LOS USOS Y MANEJO DE UN GRAN NÚMERO DE ESPECIES EMPLEADAS POR LAS COMUNIDADES RURALES DESDE ÉPOCAS INMEMORIALES.
- LOS PROGRAMAS DE ASISTENCIA TÉCNICA Y EXTENSIÓN, DEBERÁN INCLUIR TÉCNICAS DE MANEJO Y APROVECHAMIENTO DE ESTAS ESPECIES COMO ALTERNATIVAS FACILITABLES PARA LAS ZONAS ÁRIDAS.
- PARA ASEGURAR LA EXISTENCIA DEL GRAN ACERVO GENÉTICO QUE ESTAS ESPECIES REPRESENTAN, DEBERÁN EMPRENDERSE PROGRAMAS MUY AGRESIVOS DE CONSERVACIÓN "IN SITU" Y "EX SITU".
- EL USO DE ESTAS ESPECIES DEBERÁ ESTAR REFORZADO POR UN AMPLIO PROGRAMA DE TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS Y DE PROMOCIÓN DE SU CONSUMO.
- SE DEBE CONSIDERAR COMO MUY CONVENIENTE LA PROMOCIÓN Y DIFUSIÓN DEL USO DE LAS PLANTAS SILVESTRES DE PROPÓSITOS MÚLTIPLES.

#### LITERATURA CITADA.

DE VALDIVIA, R.M. 1982. LA IMPORTANCIA DE LAS PLANTAS SILVESTRES EN LA ALIMENTACIÓN HUMANA. EN: SEMINARIO SOBRE EL USO DE LAS PLANTAS SILVESTRES EN LA ALIMENTACIÓN. SUBSECRETARÍA FORESTAL Y DE LA FAUNA, SARH. MIMEOGRAFIADO. MÉXICO.

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES Y AGROPECUARIAS. 1987. LA CIENCIA FORESTAL Y AGROPECUARIA EN MÉXICO. REUNIÓN NACIONAL DE ANÁLISIS Y PERSPECTIVAS DEL SISTEMA DE INVESTIGACIÓN DE LA SARH. DOCUMENTO DE TRABAJO. 254 p. MÉXICO.

Mc. GINNIES, G. W. 1981. DISCOVERING THE DESERT. THE UNIVERSITY OF ARIZONA PRESS, TUCSON, ARIZONA. 276 p. E.U.A.

SUBSECRETARÍA FORESTAL Y DE LA FAUNA. 1982. VINCULACIÓN DEL SUBSECTOR FORESTAL CON EL SISTEMA ALIMENTARIO MEXICANO. 2A. EDICIÓN. 40 p. MÉXICO.

SUBSECRETARÍA DE PROGRAMACIÓN Y PRESUPUESTO. 1983. PROGRAMA DE DESARROLLO DE LAS ZONAS ÁRIDAS. GOBIERNO CONSTITUCIONAL DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS. 42 p. MÉXICO.

VILLA SALAS, A. B. 1980. LOS DESIERTOS DE MÉXICO. MEMORIA DE LA REUNIÓN "ARID LAND RESOURCE INVENTORIES: DEVELOPING COST EFFICIENT METHODS. USDA, FOREST SERVICE GENERAL TECHNICAL REPORT WO-28. pp 18-20. E.U.A.



# An Ecological Approach to Classifying Semiarid Plant Communities<sup>1</sup>

Richard E. Francis and Earl F. Aldon<sup>2</sup>

---

**Abstract.**--The vegetation variables of foliar cover, density, frequency, and subsequent importance values were used with hierarchical cluster analysis to quantify and classify plant communities. As an example of the approach, plant communities were classified for a semiarid watershed in northwestern New Mexico. This approach provides a quantitative ecological base to interpret and monitor ecosystem dynamics (trend).

---

## INTRODUCTION

Classification of natural communities has been extensively discussed and has had a crucial role in the evolution of ecological theory (Shimwell 1972). Classification provides a basis for comparing the environment with the composition of vegetation, and involves arranging stands into classes or groups which have common characteristics (Greig-Smith 1983).

Numerous classification systems have been used for different kinds of landscapes, vegetation, and interests (Bailey and others 1978; Meeker and Merkel 1984). An ecological classification system must be based on readily identifiable elements applicable to all land area. Because of this idea, the concept of potential natural vegetation was proposed (Driscoll and others 1984). Potential natural vegetation allows for the present existing vegetation and site to be projected into the future. The choice of characteristics used to classify plant communities influences whether the resultant community-types are natural or artificial entities (Whittaker 1978).

This paper presents an ecological approach to classifying existing plant communities. The example used is based on a study that was designed to define, describe, and quantify

---

<sup>1</sup>Paper presented at the U.S.A./Mexico Symposium: Strategies for Classification and Management of Natural Vegetation for Food Production in Arid Zones. [Tucson, Arizona, October 12-16, 1987]. This paper represents a cooperative study with the USDI Bureau of Land Management, New Mexico State office.

<sup>2</sup>Range Scientist and Supervisory Research Forester, respectively. [USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Albuquerque, NM 87106]

ecological phyto-edaphic communities on the Rio Puerco Watershed (Francis 1986). The phyto-edaphic communities can be used as an ecological base to develop and evaluate management schemes, including changes in vegetation, soil surface factors, soil fungi (Fresquez and others 1987), ecological stage, and soil stability. Also, ecological classification was needed to provide criteria for extrapolating quantitative research results and potential subsequent management prescriptions to broader and similar semiarid environments (Aldon and Garcia 1971), and as a basis for interpreting ecological succession (Huschle and Hironaka 1980).

## STUDY AREA

The Rio Puerco watershed is a 1.6 million ha, semiarid basin in northwestern New Mexico. The watershed has a long history of settlement, heavy livestock grazing, and site degradation which began in the mid-to late 1700's (Dortignac 1960; Vincent 1984).

The specific study area, referred to as the Upper Rio Puerco Watershed, is 64 km northwest of Albuquerque. It covers approximately 207,172 ha (about 10% of the total Rio Puerco Watershed) of which 159,080 ha are administered by the Bureau of Land Management (BLM). Elevations range from 1,662 m to 2,743 m. The climate is semiarid with an average annual precipitation during a 20-year period ranging from 215.9 mm to 322.6 mm. Soils, described by Folks and Stone (1968) and later revised (USDA Soil Conservation Service 1977), are classified primarily as Entisols and Aridisols with sandy clay loam textures. Because soils are a major abiotic determinant of ecological sites, the successional status or ecological stage of a community should include soil-site as an interpretation determinant (Reppert and Francis 1973; Shiflet 1973).

## METHODS

Landform, soils, and vegetation were used to identify phyto-edaphic sites for sampling and as a basis for compatible classification (Brown and others 1979, Driscoll and others 1984, USDA Forest Service 1986). Five landform classes were used which were expanded from Hickey and Garcia (1964):

1. Mesas and ridge tops (uplands): Soils were residual; slopes were less than 2%.
2. Colluvial slopes: Areas usually of 10% slope or greater from which active or intermittent soil movement occurs, usually in nonaccelerated status; usually middle or upper slopes.
3. Lower colluvial slopes: Areas usually of 2-10% slope, where soil material (colluvium) from upper colluvial slopes is deposited above alluvial flats. Finer soil in suspension may pass through to alluvial flats or drain-aways.
4. Alluvial flats: Areas of 0-2% slopes where fine textured alluvium produced a characteristic landform with distinct topographic, soil, and vegetative boundaries.
5. Breaks: Rough, broken country with unstable soils, or areas where topography was too steep for normal soil development. Critical slope angle was undefined and varied with soil texture.

Soil taxonomy and descriptions for the study area were compiled from the soil surveys of the Cabezón Area, New Mexico (Folks and Stone 1968) and the soil survey of Sandoval County, New Mexico (USDA Soil Conservation Service 1977). Site specific physical-chemical soils data are currently being analyzed for soil-vegetation relationships.

A total of 114 sample sites were selected where apparent changes in floristic aspect or plant composition, landform, and/or soils suggested a possible change in ecological sites. The sampling procedure and site selection were based on homogeneous vegetation stands from which data were collected to quantify, identify, and classify the sites. The selection of stands was not based on lack of disturbance. The intent was to describe the existing vegetation of the study area so that (1) present ecological stage and potential natural vegetation could be determined, and (2) existing vegetation communities could be defined for monitoring trend, applying management prescriptions, and identifying ecological stage.

Transects were randomly established within each sample site. The number of transects per site varied from two to five, depending upon the apparent diversity and size of the site.

The Community Structure Analysis (CSA) technique (Pase 1981) was used to determine plant species foliar cover, density, and frequency defined respectively as the percent area of the ground surface covered by above-ground plant parts projected to the ground surface, the number of plants per unit area, and the number of plots in which a species occurred expressed as percentage of the total (Greig-Smith 1983). Transects consisted of 100 5-cm by 10-cm microplots (Morris 1973) for foliar cover, and 10 0.5-m<sup>2</sup> circular plots for density and frequency. The microplots were systematically located every 2 m on a pace interval, and the circular plots were located at each tenth microplot. For each microplot, plant foliar cover by species was estimated using the following classes: t(trace) = 0-5%, 1 = 6-15%, 2 = 16-25%, 3 = 26-35%, 4 = 36-45%, 5 = 46-55%, 6 = 56-65%, 7 = 66-75%, 8 = 76-85%, 9 = 86-95% and 10 = 96-100%; analysis was based on class mid-points. In addition, plant litter, bare soil, and rock fragments  $\geq 2.54$  cm diameter were estimated according to the same cover classes. Litter was defined as loose plant debris, or standing dead material not of the current year's growth. Synusae (life-form strata) were evaluated separately. Frequency for each species was calculated using data from the 0.5 m<sup>2</sup> plots; possible frequency ranged from 0-100% in 10% increments. Voucher specimens were collected and verified.

Site data were analyzed and summarized using program COSAM<sup>3</sup>, which provided a summary of plant species with associated cover, density, and frequency values; the percent cover of bare soil, litter, rock; a ranked and arrayed importance value (IV) for each species; and a diversity index (DI).

Cover (C), density (D), and frequency (F) were considered to be three significant structural components of a community, and were used to calculate an importance value (Curtis and McIntosh 1951) for each species by transect and site. These three variables represent an estimate of area, number, and distribution, respectively. Use of a single variable to describe community structure could result in over or underestimating an individual species contribution to the community (Francis and King 1987a). Therefore, an importance value for each species in each site was calculated to evaluate its contribution to and "importance" in the community. An importance value implies a species relative structural dominance and competitive status within a community.

<sup>3</sup>Program COSAM (Community Sample) was developed by and is on file at the USDA Forest Service, Rocky Mountain Station, Fort Collins, Colo.



The importance values were calculated using:

$$IV_i = \frac{C_i}{\Sigma C} + \frac{D_i}{\Sigma D} + \frac{F_i}{\Sigma F}$$

where:  $IV_i$  = importance value of the  $i^{th}$  species;

$C_i$ ,  $D_i$ ,  $F_i$  = mean cover, density, frequency of the  $i^{th}$  species; and

$\Sigma C$ ,  $\Sigma D$ ,  $\Sigma F$  = the total cover, density, frequency for all sample species.

Importance values were calculated, summarized, and averaged for each species by site.

The mean importance values for each site were used to calculate resemblance coefficients and to develop resemblance matrices. The resemblance matrix consisted of dissimilarity coefficients derived from Euclidean distance coefficients (Romesburg 1984).

A dendrogram was produced using the resemblance matrix and a clustering method from Program CLUSTAN (CLUSTER ANALYSIS) (Wishart 1981). The clustering method used was developed by Ward (1963) and is based on the minimum variance between two sites (Romesburg 1984). The cluster routine followed a hierarchical-agglomerative-polythetic approach (Goodall 1978; Romesburg 1984). To develop meaningful and realistic clusters, only species having an  $IV \geq 0.1$  were used, which appeared to include species that dominated the sites.

That resultant dendrogram was evaluated for realistic clusters using successive approximation (Poore 1962) and original site data summaries. Clusters were evaluated as to their separation of lifeform (tree, shrub, grass) and grouping of dominant species by site. Inter-cluster versus intra-cluster variability based on Euclidean distance was compared (Dyer 1978) as an index to significant clusters (Francis and King 1987b).

The advantage of cluster analysis is that it makes classification possible, even if it is arbitrary (Barbour and others 1980). Cluster analysis still requires that the investigator evaluate the process and the results (Everitt 1979) using a real situation. Although cluster analysis may be subjective, it quantifies the classification process because some threshold value may be chosen as the lower limit to an association or community.

## RESULTS AND DISCUSSION

The 114 sites clustered using the criteria of species  $IV \geq 0.1$  resulted in 45 plant communities (p.c.) in 3 formations (Francis 1986). The 45 plant communities were representative of 11 vegetation series consisting of treeland, shrubland, and grassland formations (table 1). Intra-cluster variation among sites was significant for 82% of the communities

analyzed, and inter-cluster variation among communities was significant for 73% of the series analyzed (Francis and King 1987b). Therefore, the majority of sites and communities were considered statistically different and ecologically realistic as classified.

Table 1.--Plant community classification, community number and name, and number of sample sites for the Upper Rio Puerco Watershed. Taxonomy and species symbols follow Martin and Hutchins 1980, and Nickerson and others 1976, respectively. Community descriptions are in Francis 1986.

Formation	Subformation	Community	No. Sites
Treeland	Pinus	1. Pipo/CARE-Bogr	3
		2. Pipo-Pied/Bogr-Cafi	1
		3. Pied/Bogr-ERIO	1
		4. Pied-Jumo/Oppo/Bogr	1
		5. Pied/Gusa/Hija-Spne	1
	Juniperus	6. Jumo/Gusa/Bogr-Hija	4
		7. Jumo/Bogr	4
		8. Jumo/Artr/Hija-Spcr	1
Shrubland	Artemisia	9. Artr/Bogr-Hija	7
		10. Artr-Gusa/Bogr-Hija	3
		11. Artr/Bogr-Hija-Spai	4
		12. Artr-Gusa/Hija-Spai	2
		13. Artr-Gusa/Bogr-Agsm	6
		14. Artr/Spcr-Orhy	1
		15. Artr-Chpa/Arfe-Bogr	1
		16. Arno-Artr/Agcr-Agsm	1
		17. Arno-Gusa/Bogr-Hija	1
		18. Chnab/Bogr-Agsm	1
	Chrysothamnus	19. Chpa/Hija-Bogr	3
		20. Chnag/Bogr-Agsm	1
	Sarcobatus	21. Save	2
		22. Save/Sihy-Agsm	1
	Ceratoidea	23. Cela-Gusa/Hija	7
		24. Cela-Gusa/Bogr	3
	Atriplex	25. Atcu-Frja/Spai	1
		26. Atob/Spai-Spcr	2
		27. Atob-Gusa/Hija-Spai	2
		28. Atca/Hija	1
Grassland	Bouteloua	29. Atca/Spai-Sihy	4
		30. Atca-Gusa/Bogr-Spcr	2
		31. Bogr-Hija	2
		32. Gusa/Bogr-Hija	8
		33. Gusa/Bogr-Boer	1
		34. Bogr-Spai	1
		35. Gusa/Boer-Hija	2
		36. Gusa/Hija-Bogr	6
		37. Hija-Spai	5
		38. Gusa/Hija-Spcr	1
	Sporobolus	39. Spai	1
		40. Spai-Bogr	5
		41. Spai-Hija	4
		42. Gusa/Spai-Hija	2
	Scleropogon	43. Spai-Agsm	2
		44. Spne-Boer	1
		45. Scbr-Bogr	1

Initially, the plant communities were determined by setting the dendrogram dissimilarity index level (Euclidean distance) at approximately 0.565 (fig. 1). However, this dissimilarity level produced some clusters that were confounded by unlike species and lifeform. Therefore, an ordered printout of site summaries (table 2) following the horizontal dendrogram x-axis was used to determine realistic site clusters and species dominance. The sites were combined into communities based on species  $IV \geq 0.1$  if an individual species  $IV$  rank and lifeform dominated the site (Francis and King 1987a).

For example, the first cluster formed at index 0.565 consisted of 10 sites: 1, 141, 152, 37, 136, 142, 140, 144, 143, and 145 (fig. 1).

Selecting the species by lifeform with the greatest IV from each site led to all of the sites within the same formation--shrubland. However, sites 1 and 152 were classified as Artr (*Artemisia tridentata*)-Gusa (*Gutierrezia sarothrae*)/Bogr (*Bouteloua gracilis*)-Hija (*Hilaria jamesii*) (p.c. 10) (table 2); site 141 was combined with sites 142, 140, 144, 143, and 145 and classified as Artr-Gusa/Bogr-Agsm (*Agropyron smithii*) (p.c. 13) (table 2); sites 37, 5, 146, 7, 9, 23, and 22 classified as Artr/Bogr-Hija (p.c. 9) (fig. 1, table 2). Note

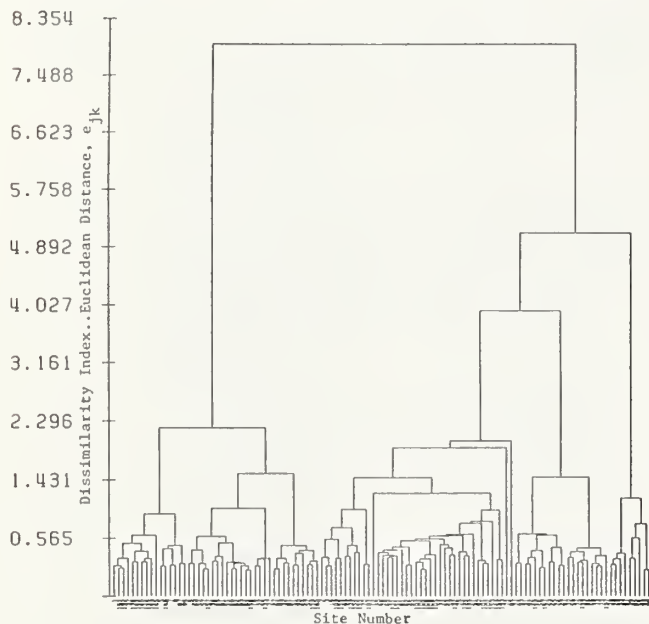


Figure 1.--Dendrogram of 114 sample sites based on importance values for all species with IV  $\geq$  0.1. A partial site summary and site linkage used to form plant communities are shown in table 2.

that sites 5, 146, 7, and 9 formed a realistic cluster, and that sites 37, 23, and 22 were clustered with other sites and had to be recombined using site summary data (fig. 1, table 2). For example, site 22 (p.c. 9) was clustered with site 19 (p.c. 32). Boyd (1984) also found that clusters had to be interpreted and refined to make ecologically meaningful communities.

An example of a realistic cluster requiring no additional combining was the grouping of sites 103, 104, 106, and 108 (fig. 1) which were classified as Jumo (*Juniperus monosperma*)/Gusa/Bogr-Hija (p.c. 6).

Clusters that confounded lifeform and species therefore required on examination using the dendrogram in relation to the site summaries. The result was 45 plant communities named for the dominant or co-dominant species by lifeform with an IV  $\geq$  0.1 (Francis 1986).

The hypothesis that Ward's method and dissimilarity coefficients calculated from species IV  $\geq$  0.1 would provide distinct, realistic clusters was rejected based on the results

Table 2.--Partial site summary of species variables following the horizontal dendrogram x-axis and site number (Fig. 2). Listed are five species with the highest IV  $\geq$  0.1. Underlined species were used to form and name the plant community (p.c.). Solid lines connecting the sites indicated all of the sites used to form a p.c.; broken lines indicate some of the sites.

P.C. No.	Site No.	Species	Cover(%)	Density(No.)	Frequency(%)	IV
10	1	Bogr	3.8	24.3	60	.789
	1	Hija	3.2	11.0	97	.566
	1	Artr	10.5	0.7	40	.517
	1	Stne	1.6	2.3	70	.262
	1	Gusa	2.0	1.0	50	.209
10	141	Bogr	6.2	7.9	70	.816
	141	Artr	5.5	1.0	30	.403
	141	Agsm	1.0	4.3	35	.314
	141	Hija	0.8	4.7	20	.281
	141	Gusa	2.5	0.4	30	.277
10	152	Bogr	3.9	22.9	80	.801
	152	Artr	1.7	1.5	63	.537
	152	Hija	3.4	8.7	50	.437
	152	Gusa	2.2	2.4	77	.314
	152	Sihy	0.5	4.0	63	.235
9	37	Artr	12.8	1.8	80	.861
	37	Hija	3.1	17.0	90	.821
	37	Bogr	3.7	15.6	73	.770
	37	Agsm	0.3	2.1	37	.168
	37	Agcr	0.3	0.6	20	.085
13	136	Bogr	24.3	16.6	80	1.373
	136	Agsm	2.0	11.9	50	.550
	136	Hija	1.2	4.0	25	.229
	136	Spcr	0.6	1.7	35	.186
	136	Chnab	5.2	0.0	00	.138
18	142	Bogr	21.7	21.6	100	1.219
	142	Artr	17.6	0.9	60	.572
	142	Agsm	1.6	15.7	80	.569
	142	Gusa	0.3	2.9	90	.278
	142	Psta	0.1	1.8	40	.134
140	140	Bogr	7.7	7.7	60	.726
	140	Agsm	1.6	13.1	65	.609
	140	Hija	2.2	6.8	35	.412
	140	Artr	4.5	1.1	34	.331
	140	Spai	2.9	1.9	10	.214
140	140	Gusa	0.6	0.5	20	.100
	144	Agsm	1.7	12.3	45	.500
	144	Agde	4.7	5.2	60	.489
	144	Bogr	3.8	6.2	55	.464
	144	Artr	5.0	0.9	40	.344
144	144	Astr	1.7	2.5	40	.233
	144	Gusa	0.3	1.5	40	.140
143	143	Bogr	9.1	16.6	00	.841
	143	Artr	12.1	2.9	70	.809
	143	Agsm	0.7	10.1	90	.604
	143	Agde	1.1	3.4	40	.272
	143	Gusa	0.2	0.4	40	.149
145	145	Artr	13.2	2.8	50	1.025
	145	Agsm	2.0	16.1	40	.939
	145	Sihy	0.6	2.3	60	.390
	145	Agde	1.5	2.0	50	.381
	145	Cela	1.1	1.2	20	.195
145	145	Bogr	0.2	0.0	00	.014

of this study. However, the dendrogram and associated ranked site summary data provided a realistic starting point for plant community classification.

Another analysis indicated that importance values of each species appeared to compensate for inconsistent relationships between IV variables within lifeform by using relative component values, and ranking the species importance in each community on an ecological dominance basis (Francis and King 1987a).



Therefore, it is recommended that the previously described use of the CSA method be restricted to grasslands, or modified for use in treelands and shrublands to include a larger plot size and/or nested plots for density and frequency. For example, the 0.5-m<sup>2</sup> plot should be nested within a 1.0- or 2.0-m<sup>2</sup> plot. The density and frequency of herbaceous species should be determined from the 0.5-m<sup>2</sup> plot, while the density and frequency of trees and shrubs would be determined from the larger plot.

The results of this study also indicated that most plant communities occurred on more than one soil series and/or association, and that most soil series and/or associations supported more than one plant community (Francis 1986). Several factors appeared to contribute to these results. First of all, the soil information was taken from mapped surveys rather than a pedon from each site being described and classified. This resulted in sample sites on such broad soil delineations that it was difficult to correlate a soil series with a plant community. Secondly, most of the soils were in the Entisol or Aridosol orders which were very young, displayed limited development, and were highly eroded. The soils have not had time to differentiate, given the climatic and biological regime. Third, the majority of plant species had a wide ecological amplitude and in most cases became established on nonspecific edaphic sites. Many species may be disturbance-induced, and perhaps are only in partial equilibrium. It is therefore recommended that the specific soil at each sample site be profiled, classified, and analyzed to develop a meaningful soilvegetation classification.

Ward's cluster analysis method provided a first approximation of site clusters necessary to form plant communities. However, supplementing that analysis with individual site summaries from Program COSAM and ecological judgement provided statistically sound and ecologically realistic clusters.

Importance values provided an estimate of plant community structure based on species areal extent (cover), numbers (density), and distribution (frequency). However, the IV's should be interpreted in relation to their component values to detect subtle ecological relationships. Dissimilarity coefficients appeared to provide adequate separation between sites, at least for a first approximation of clusters.

#### REFERENCES

- Aldon, Earl F. and Garcia, George. 1971. Stocking rangelands on the Rio Puerco in New Mexico. *Journal of Range Management*. 24(5):344-345.
- Bailey, Robert G., Pfister, Robert D., and Henderson, Jan A. 1978. Nature of land and resource classification - A review. *Journal of Forestry*. 76:650-655.
- Barbour, M.G., Burk, J.H., and Pitts, W.D. 1980. *Terrestrial plant ecology*. Menlo Park, CA: The Benjamin/Cummings Publ. Co., Inc. 604 p.
- Boyd, Christine. 1984. An analysis of the vegetation of the MacMillan Pass region, Yukon: Collection of data and methods of analysis. In: LaBau, Vernon J. and Kerr, Calvin L., eds. *Inventorying forest and other vegetation of the high latitude and high altitude regions. Proceedings of an International Symposium. Society of American Foresters Regional Technical Conference; Fairbanks, Alaska; July 23-26, 1984. Bethesda, Maryland: Society of American Foresters: 127-133.*
- Brown, E.E., Lowe, C.H. and Pase, C.P. 1979. A digitized classification system for the biotic communities of North America, with community (series) and association examples for the Southwest. *Journal of the Arizona-Nevada Academy Sciences*. 14(1):1-16.
- Curtis, J.T. and McIntosh, R.P. 1951. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology*. 32:476-496.
- Daubenmire, Rexford. 1968. *Plant communities: A textbook of plant synecology*. New York: Harper and Row, Publishers. 300 p.
- Dix, Ralph L. 1961. An application of the point-centered quarter method to the sampling of grassland vegetation. *Journal of Range Management*. 14:63-69.
- Dortignac, Edward J. 1960. *The Rio Puerco-past, present, and future*. New Mexico Water Conference Proceedings. 5:45-51.
- Driscoll, R.S., Merkel, D. L., Radloff, D.L., Snyder, E.E., and Hagihara, J.S. 1984. An ecological land classification framework for the United States. *Miscellaneous Publication No. 1439. Washington, D.C.: USDA Forest Service*. 56 p.
- Dyer, D.P. 1978. An analysis of species dissimilarity using multiple environmental variables. *Ecology*. 59(1):117-125.
- Everitt, B.S. 1979. Unresolved problems in cluster analysis. *Biometrics*. 35:169-181.
- Folks, J.J. and Stone, W.B. 1968. *Soil survey: Cabezon area, New Mexico*. Washington, D. C.: USDA Soil Conservation Service. 44 p.
- Francis, Richard E. 1986. *Phyto-edaphic communities of the Upper Rio Puerco Watershed, New Mexico*. Research Paper RM-272. Fort Collins, CO: USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. 73 p.

- Francis, Richard E. and King, Rudy M. 1987a. Importance values: a review of their development and a test of component relationships. Fort Collins, CO: USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. 26 p. [Review draft].
- Francis, Richard E. and King, Rudy M. 1987b. Dissimilarity analysis: An index to significant plant community classification. Fort Collins, CO: USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. 21 p. [Review draft].
- Fresquez, P.R., Dennis, G.L., and Francis, R.E. 1987. Soil fungi: An additional parameter for phyto-edaphic community classification. In: Proceedings of the Symposium: Land classifications based on vegetation: Applications for resource management; Nov. 17-19, 1987, Univ. Idaho. General Technical Report INT \_\_\_\_\_. Ogden, UT: USDA Forest Service, Intermountain Research Station. (In Press).
- Goodall, David W., 1978. Numerical classification. In: Whittaker, Robert H., ed. Classification of plant communities. The Hague: Dr. W. Junk bv Publishers: 247-286.
- Greig-Smith, P. 1983 (3rd ed.) Quantitative plant ecology. Berkeley: University of California Press. 359 p.
- Hickey, Wayne C., Jr. and Garcia, George. 1964. Range utilization patterns as affected by fencing and class of livestock. Research Note RM-21. Fort Collins, CO: USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. 7 p.
- Huschle, G. and Hironaka, M. 1980. Classification and ordination of plant communities. Journal of Range Management. 33:179-182.
- Martin, William C. and Hutchins, Charles R. 1980. A flora of New Mexico. Hirschberg, Germany: J. Cramer. 2591 p., 2 vols.
- Meeker, Donald O., Jr. and Merker, Daniel L. 1984. Climax theories and a recommendation for vegetation classification - a viewpoint. Journal of Range Management. 37(5):427-430.
- Morris, Meredith J. 1973. Estimating understory plant cover with rated microplots. Research Paper RM-104. Fort Collins, CO: USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. 12 p.
- Nickerson, M.F., Brink, G.E., and Feddema, C. 1976. Principal range plants of the central and southern Rocky Mountains: Names and symbols. General Technical Report RM-20. Fort Collins, CO: USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. 121 p.
- Pase C.P. 1981. Community structure analysis - a rapid, effective range condition estimator for semi-arid ranges. In: Lund, H.G., and others, tech. coords. Arid land resource inventories: Developing cost-efficient methods; Nov. 30-Dec. 6, 1970, La Paz, Mexico. General Technical Report WO-28. Washington, D.C.: USDA Forest Service: 425-430.
- Poore, M.E.D. 1962. The method of successive approximation in descriptive ecology. In: Cragg, J. B., ed. Advances in Ecological Research, Vol. 1. New York: Academic Press: 35-68.
- Reppert, Jack N. and Francis, Richard E. 1973. Interpretation of trend in range condition from 3-step data. Research Paper RM-103. Fort Collins, CO: USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. 15 p.
- Romesburg, H.C. 1984. Cluster analysis for researchers. Belmont, CA: Lifetime Learning Publications. 334p.
- Shiflet, T.N. 1973. Range sites and soils in the United States. In: Hyder, D. N., ed. Arid shrublands, Proceedings of the 3rd Workshop of the U.S.-Australia Rangelands Panel; Mar. 26-Apr. 5, 1973, Tucson, Arizona. Denver, CO: Society for Range Management: 26-33.
- Shimwell, D.M. 1972. The description and classification of vegetation. Seattle: University of Washington Press. 322 p.
- USDA Forest Service. 1986. Terrestrial Ecosystem Survey Handbook. Albuquerque, NM: USDA Forest Service, Southwestern Region. 8 Chapters, Appendices A-D.
- USDA Soil Conservation Service. 1977. Soil survey of BLM lands: Sandoval and McKinley Counties. Albuquerque, NM: USDA Soil Conservation Service. (Preliminary report).
- Vincent, Dwain. 1984. Range trend in the Cabezon area. Rangelands. 6(3):120-122.
- Ward, J.H., Jr. 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. Journal of the American Statistical Association. 58(301): 236-244.
- Whittaker, Robert H. 1978. Approaches to classifying vegetation. In: Whittaker, Robert H., ed. Classification of plant communities. The Hague: Dr. W. Junk bv Publishers: 1-31.
- Wishart, D. 1981. CLUSTAN user manual. Edinburg, Scotland: Program Library Unit, Edinburg Univ..



245

# A Hierarchical Classification of Landforms: Some Implications for Understanding Local and Regional Vegetation Dynamics<sup>1</sup>

Steven M. Wondzell, Gary L. Cunningham, and Dominique Bachelet<sup>2</sup>

---

**Abstract.** Analyses of soils and vegetation on the Jornada / Long-Term Ecological Research site have shown strong relationships between vegetative communities and landforms. Observations indicate that similar vegetative patterns exist throughout the Mexican Highland division of the Basin and Range Province. A generalized landscape-level model is presented which attempts to explain the desertification trends producing the shrub - grassland vegetational mosaic found today in southern New Mexico.

---

## INTRODUCTION

Over geological time scales, geomorphologic processes have formed the representative landforms of the Basin and Range physiographic province (Mabbutt 1977). Over periods of 10's to 100's of years, these processes can be viewed as static because of the low rate of landforming events (Allen and Star 1981, O'Neill et al. 1984). At this temporal scale, individual landforms regulate the rates of geomorphic processes, and thereby control the rates at which energy and materials (water, sediment, organic matter, propagules, and organisms) are transported within the landscape (Swanson et al. 1987).

Ecosystem studies in semi-arid and arid regions have shown that biotic processes, especially net primary production, are limited by the availability of water (Noy-Meir 1973, Crawford and Gosz 1982) and nitrogen (Pauli 1964, Cline and Rickard 1973). This paper attempts to expand on these studies by developing a framework for understanding how landscape elements influence the distribution of limiting resources within and between ecosystems. Our working hypothesis is that

vegetative communities in semi-arid and arid regions should reflect differences in the horizontal redistribution of both water and organic matter between landform elements. The first objective of this paper, then, is to identify the landform elements of the Jornada Long Term Ecological Research site (LTER/Jornada); to demonstrate how these landform elements can regulate geomorphic processes that control the transport of water, sediments, and organic matter across the landscape; and to use the relationships between landform elements and geomorphic processes to attempt to explain the spatial patterns observed in vegetative communities.

Numerous studies describe the primeval vegetation of the semi-arid regions of North America as extensive grasslands with interspersed shrubs. These grasslands have been replaced by *Larrea tridentata*, *Flourensia cernua*, and *Prosopis* spp. throughout much of their former extent. These changes have often been accompanied by extensive sheet and wind erosion, and cutting of arroyo channels (Gardner 1951, Buffington and Herbel 1965, York and Dick-Peddie 1969, Stein and Ludwig 1979, Gibbens et al. 1983, Hennessy et al. 1983, Wondzell 1984, Gibbens and Beck 1987).

---

<sup>1</sup>Paper presented at the Symposium on strategies for classification and management of natural vegetation for food production in arid zones. Tucson, Arizona, October 12-16, 1987.

<sup>2</sup>Steven M. Wondzell is a Research Assistant, Dominique Bachelet is a Research Specialist, and Gary L. Cunningham is Professor. All are at the Department of Biology, New Mexico State University, Las Cruces, NM 88003. This research was supported by NSF grant BSR 8114466 to the LTER/Jornada program.

Several causal mechanisms have been proposed, most notably the grazing of domestic livestock (York and Dick-Peddie 1969) and climatic change (Buffington and Herbel 1965, VanDevender and Spaulding 1979, Neilson 1986); these mechanisms do act directly on vegetative communities. However, these studies usually did not consider the spatial relationships between the communities within the landscape and did not account for the interactive effects of landscape level processes.

Landforms regulate geomorphic processes which are modified by the vegetation supported by individual landforms. Over long time periods entire landscapes converge to metastable states (Forman and Godron 1986, p. 436) at which the interactive effects of landforms, geomorphic processes, and vegetation are balanced. Our working hypothesis is that an exogenous disturbance, such as grazing or climatic change, that affects vegetation can overcome the inertia of a metastable state, leading to changes in the horizontal redistribution of water and organic matter between landform elements. The second objective of this paper, then, is to develop a generalized model which incorporates our understanding of geomorphic processes to explain the post-settlement vegetative dynamics from which the desert scrub/desert grassland vegetational mosaic of southern New Mexico resulted.

## LANDFORMS, GEOMORPHIC PROCESSES, AND VEGETATION

### General Setting

Landscapes within the Mexican Highland section of the Basin and Range province of North America (fig. 1) are characterized by north-south trending fault block mountains separated by broad linear valleys (Fenneman 1931, Hawley 1975).



Figure 1. Basin and Range Physiographic Province (adapted from Peterson 1981 and Ordóñez 1936).

The Jornada del Muerto, which is approximately 100 km long and 30 km wide (fig. 2a & b), is a structural and topographic basin in south central New Mexico. The tectonic evolution of this basin has been accompanied by deposition of fluvial and alluvial sediments which exceed 1,000 m in depth (Gile et al. 1981). Fluvial sediments were deposited by the ancestral Rio Grande river system (Strain 1966) while concurrent erosion of the adjoining ranges resulted in deposition of alluvial sediments in extensive piedmont slopes along the mountain fronts (Gile et al. 1981).

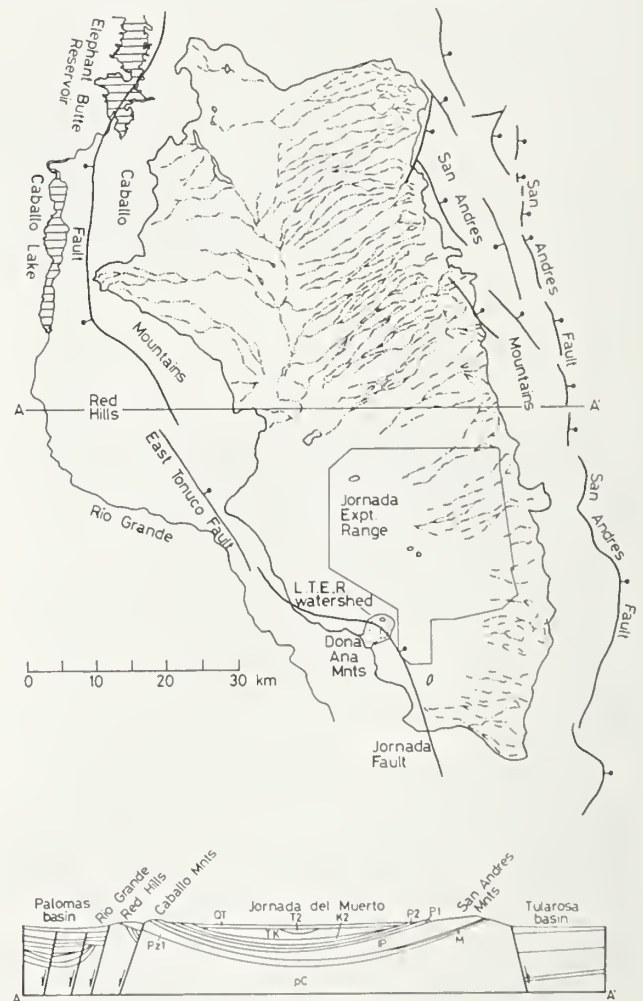


Figure 2. Jornada del Muerto. A. Structural basin bounded by faults (down thrown sides marked) and topographic basin outlined (with arroyo channels and playa lake beds shown). B. Geologic cross section showing bounding faults (adapted from New Mexico Highway Geologic Map, see for explanation of geologic symbols).

The surface of the Jornada del Muerto basin is a complex of smaller watersheds which vary in size from 1,000 to 50,000 ha. The LTER/Jornada research site traverses a 1,500 ha watershed draining the slopes of Mount Summerford, an isolated peak in the Dona Ana mountains which



border the Jornada del Muerto basin on the southwest. Two major drainage systems are present within this watershed. The LTER transects are located between these drainage systems on piedmont slopes which have been slightly dissected by localized runoff originating on the east flank of Mt. Summerford, or on the piedmont slope itself (fig 3).



Figure 3. LTER/Jornada watershed showing location of study transects, elevations (contours in meters), and major drainages. Line of open circles represents the buried Jornada fault.

#### Mountain

Following Peterson's (1981) hierarchical classification, this watershed can be divided into three major physiographic parts (fig. 4), the first of which is Mount Summerford. It is the major source of run-off and the source of sediments within the watershed. A vertical projection of the east slope of Mount Summerford shows that precipitation is spread over a 25% greater actual surface area than would occur on a level plain. This effect, combined with the damming effect caused by the high surface roughness of bouldery slopes, allows the retention of precipitation throughout a range of low to intermediate storm intensities (fig. 5).

There is great horizontal redistribution of water between microsites on the mountain slope in all but the smallest storms. Rain falling on bare rock runs into local depressions behind barricades of boulders, which also hold sediments and organic debris deposited during larger events. These mesic microsites support a high diversity of vegetation, including species normally found under much wetter climatic conditions.

The total volume and energy of runoff increase proportionally to precipitation intensity once the flow threshold is surpassed. This is accompanied by increases in both the total sediment load and the size of sediments eroded from the mountain slope (fig. 5).

#### Piedmont Slope

The sediments eroded from Mt. Summerford have been deposited in a graded surface extending from the piedmont junction to the nearly level basin floor which comprises the second major physiographic part - the piedmont slope. The upper part of this slope is a thickly mantled, granitic pediment which extends from the piedmont junction to the buried Jornada fault, located at approximately mid-slope (fig. 4) (the structural Jornada basin lies beyond the fault). The pediment, which is unaffected by pedogenic processes and is buried deeper than either the rooting zone of most plant species or water infiltration depths, does little to affect surface processes within the watershed other than determining the gross topographic relief of the piedmont slope. In contrast, the landforms that have developed in the thick sediment mantle, resembling an alluvial fan - fan piedmont continuum, do affect surface processes. Therefore, subsequent discussion will emphasize these surface landforms.

#### Alluvial Fan

**Fan Collar.** Immediately adjacent to Mount Summerford, there is a superficial apron of loose unconsolidated sediments, known as a fan collar (fig. 4). The flow threshold of the fan collar should be higher than that of the mountain slope (fig. 5) due to a combination of two factors. First, the gravelly sediments have a high infiltration rate; and second, 73% of the surface area is vegetated (Table 1) (perennial grasses contribute over half of the cover). Therefore, there is a range of storm intensities which will cause runoff from the mountain without exceeding the infiltration rate of the fan collar. This runoff has developed a network of small rills that spreads the runoff across the head of the fan collar, where it infiltrates into the gravelly sediments, depositing its entire sediment load (fig. 5).

Within a few hundred meters of the mountain front the relative importance of erosional processes increases, forming small gullies.

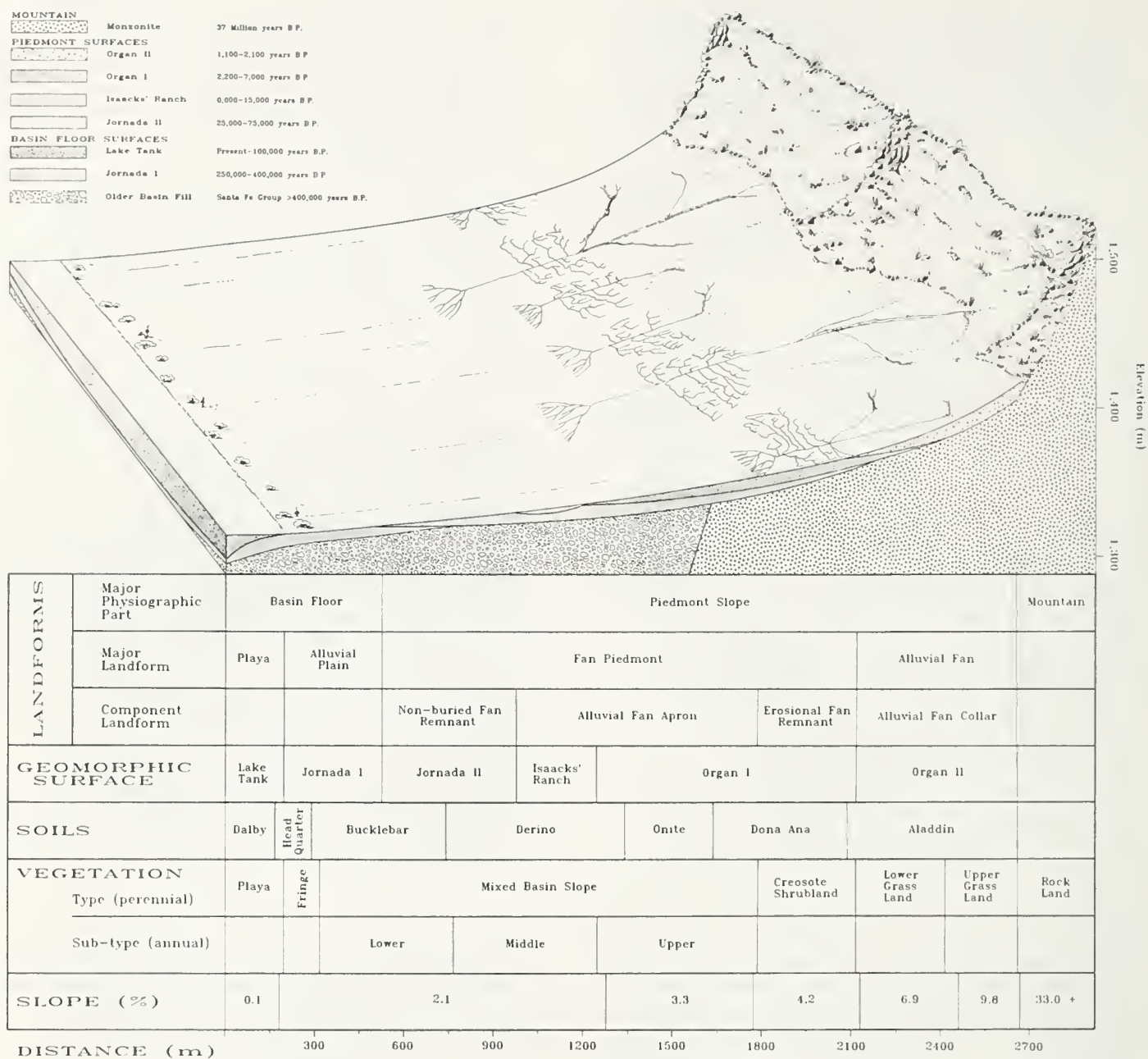


Figure 4. Block diagram of the central part of the LTER/Jornada watershed that is traversed by the study transects. Classification of landforms follows Peterson (1981), geomorphic surfaces are from Gile et al. (1981), soils from Wierenga et al. (1987), vegetation is from Ludwig and Cornelius (1987), and percent slope from unpublished data (LTER/Jornada).



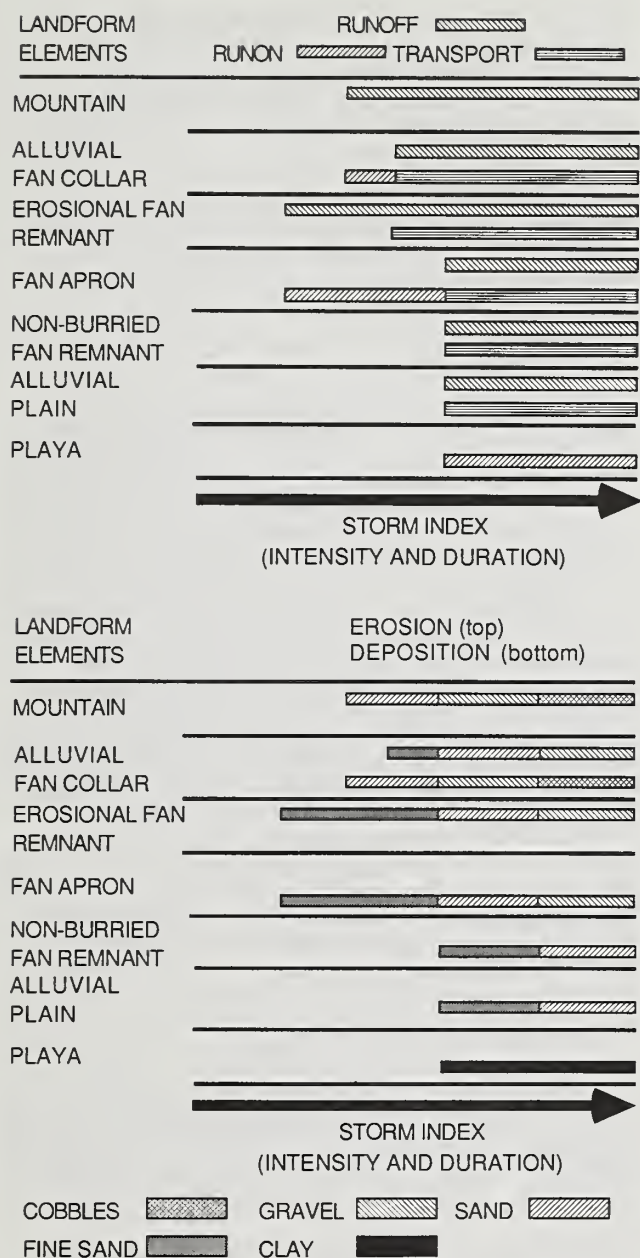


Figure 5. Hypothetical horizontal redistribution of water (A) and sediments (B) between landform elements on the LTER/Jornada watershed during storms of varying intensity.

When the precipitation intensity finally exceeds the infiltration capacity of the fan collar, runoff begins, combining with discharge from the mountain slope, and is transported out of the fan collar. However, since longitudinal gradients average only 8%, the velocity of runoff on the fan collar decreases, reducing the energy available to carry sediments. This rapid drop in energy results in the deposition of the coarse sediment fraction eroded from the mountain during these high intensity storms, even though they produce runoff from the fan collar (fig. 5).

Table 1. Percent cover of all perennial and all annual species during the fall of 1986 for each landform on the LTER/Jornada watershed.

LANDFORM	PERENNIALS	ANNUALS
MOUNTAIN	65.6	0.0
ALLUVIAL FAN COLLAR (deposit)	76.8	5.0
ALLUVIAL FAN COLLAR (erosion)	55.3	10.9
EROSIONAL FAN REMNANT	39.0	1.4
ALLUVIAL FAN APRON	35.0	40.2
NONBURIED FAN REMNANT	47.5	18.7
ALLUVIAL PLAIN	46.4	15.6
PLAYA	91.7	19.3

The fan collar supports two grassland communities (Table 1). Grasslands at the head of the fan collar are dominated by *Bouteloua eriopoda* - the primeval desert grassland dominant in southern New Mexico. The stability of this grassland appears to stem from several factors. First, precipitation is highly effective on these loamy skeletal soils due to the inverse textural effect (Noy-Meir 1973). Secondly, runoff from the mountain slopes frequently supplies additional water and nutrients. Lastly, nutrients appear to be retained and cycled within this vegetative community due to low surface erosion. Resulting soils have some of the highest nitrogen contents on the site (Table 2).

Table 2. Total inorganic nitrogen for each landform on the LTER/Jornada watershed (in mg kg<sup>-1</sup> dry soil). Data (Fisher pers. comm.) are averaged for 9 sampling dates between 1983 and 1986.

LANDFORM	NITROGEN
MOUNTAIN	3.3
ALLUVIAL FAN COLLAR (deposit)	5.5
ALLUVIAL FAN COLLAR (erosion)	2.6
EROSIONAL FAN REMNANT	2.7
ALLUVIAL FAN APRON	4.0
NONBURIED FAN REMNANT	4.2
ALLUVIAL PLAIN	3.4
PLAYA	10.5

*B. eriopoda* is also important in the lower and more highly gullied portion of the fan collar, but codominates with other perennial grasses and subshrubs. Apparently, the greater relative importance of erosion and the removal of some organic matter, combined with the lack of additional runoff water, sufficiently alter conditions so that pure swards of *B. eriopoda* cannot be supported.

#### Fan Piedmont

Down slope from the fan collar, lateral transport, mixing, and deposition of sediments form a fan piedmont (fig. 4) which can be subdivided into three component landforms: erosional fan remnant, alluvial fan apron, and a non-buried fan remnant.

Erosional Fan Remnant. Finer textured sediments formerly deposited along the piedmont slope have been erosionally dissected leaving remnants of the original constructional surface known as an erosional fan remnant (fig. 4). This landform, with a longitudinal gradient of 4.2%, has the lowest flow threshold (fig. 5). First, finer soil textures and shallow depths to caliche (which plugs the soil horizon) reduce the infiltration rate. Secondly, vegetation covers only 34% of the surface area and two thirds of this (22%) is *Larrea tridentata*. Therefore, relatively low storm intensities would exceed the infiltration capacity of this landform and initiate runoff. Since longitudinal gradients are too high for sheet flow to predominate, but too low for extensive gullying, this runoff has produced a network of small rills, known as sheet rill. The few arroyo channels present in this landform head higher on the slope, and primarily transport runoff from either Mount Summerford or the fan collar through this landform (fig. 4).

This *Larrea tridentata* - dominated community has probably been present since pre-settlement times (Stein and Ludwig 1979). Apparently, the overall characteristics of the watershed lead to a dominance of erosional processes (fig. 5) which maintain the shrub community. Leaves dropped from the shrubs build up around the rootcrown of the plants, where the soil surface is protected from the impact of raindrops. In the intershrub spaces, sheet rill removes litter from the soil surface. Overall, these soils are low in nitrogen (Table 2); however, what little nitrogen is present is distributed heterogeneously. Soils under the canopies of the shrubs are considered "islands of fertility" (Garcia-Moya and McKell 1970); intershrub spaces are nutrient poor and seldom colonized, even by annuals, and tend to remain bare even in wet years (Table 1) (also see Cornelius and Cunningham, this volume).

Alluvial Fan Apron. Longitudinal gradients of the watershed continue to decrease away from the mountain front and as elevation approaches the watershed base level. Eventually, a point is reached where the slope is insufficient for runoff to maintain distinct channels. Instead each channel gives way to a braided network which eventually disintegrates as runoff begins to move as sheet flow.

Within this transitional zone runoff rapidly decreases in energy as it spreads laterally across the watershed. Correspondingly, most of the bedload, and the coarser fraction of the suspended load, must be deposited (fig. 5), forming the alluvial fan apron landform (fig. 4). The coarser texture of the soil surface on the fan apron increases its infiltration capacity and results in a relatively high flow threshold. Therefore, this landform absorbs all runoff originating from the erosional fan remnant in low intensity storms, or from all upslope landforms in greater intensity storms. Sediments and organic matter carried in this runoff are also deposited (fig. 5); coarsest sediments are deposited near the head of the fan

apron and progressively finer sediments are carried further down slope with low density organic matter deposited last. When storm intensity exceeds the infiltration capacity, runoff from upslope landforms will be transported across the fan apron.

*Larrea tridentata* extends from the erosional fan remnant into the fan apron along the braided network of arroyo channels. However, it appears that the deposition of organic matter and the addition of runoff water maintain a mixed community of perennial grasses, forbs, and sub-shrubs in the areas between arroyo channels. Also, ephemeral species attain maximal cover (Table 1) and species richness on the fan apron. Since the storm intensities necessary to produce large volumes of runoff from upslope landforms are relatively rare (see Reynolds et al., this volume) there should be a great inter-annual variability in the supply of additional resources. Apparently, these conditions favor the development of a rich ephemeral flora.

Nonburied fan remnant. The watershed below the fan apron, with longitudinal gradients of only 2.1%, is dominated by sheet flow. Here, water movement cannot dissect the surface through gullying or sheet rill as occurs higher on the slope, nor does deposition occur, since the bulk of the sediment load was dropped on the fan apron. Therefore, the original aggradational surface is preserved in a component landform called the nonburied fan remnant (fig. 4). However, sheet wash does move some surface sediments during large runoff events. The resulting soil surfaces on both the nonburied fan remnant and the alluvial plain (described below) are similar, so they are discussed together.

#### Basin Floor

The piedmont slope grades into the basin floor - the third major physiographic part - which is an essentially level alluvial or lacustrine plain. This area can be subdivided into two major landforms - alluvial plain and playa (fig. 4).

#### Alluvial Plain

The alluvial plain is the relictual floodplain of the ancestral Rio Grande River which has not been buried with alluvial sediments, nor eroded. Instead, the soil developed in these fluvial sediments has been preserved relatively intact along the edges of the playa (fig. 4).

Infiltration rates and flow thresholds of the nonburied fan remnant and the alluvial plain are roughly similar to the alluvial fan collar (fig. 5). Therefore, storms of the same intensity exceed the infiltration capacity of all three of these landforms. Runoff originating higher on the watershed during these storms is simply transported across the nonburied fan remnant and alluvial plain into the playa. Both of these landforms support mixed communities of perennial



grasses, forbs and subshrubs, as does the alluvial fan apron, though perennial cover is higher and annual cover is much lower than on the fan apron (Table 1). These transportational landforms are geomorphically stable and disturbance since settlement does not appear to have altered the distribution of resources within this portion of the watershed. Therefore, these areas have maintained a semblance of the primeval desert grassland even without additional organic matter or water supplied through runon.

## Playa

The LTER/Jornada watershed lacks an outlet for through flow; therefore, runoff originating on the entire watershed (fig. 3) during rare, high intensity storms occasionally floods the lowest portion of the watershed known as the playa landform (fig. 4). Each flooding event deposits lacustrine sediments, which have accumulated, burying the fluvial sediments of the ancestral Rio Grande River (fig. 5).

This landform is the ultimate sink for nutrients and organic matter within the watershed. The heavy clay soils have the highest nitrogen content (Table 2) and support the highest perennial cover of any landform in the watershed (Table 1).

## Conclusions

The preceding section developed a hypothesis demonstrating how distribution of limiting resources may be controlled by geomorphic processes, which would explain the correlation of vegetative communities and landforms on the LTER/Jornada site. However, this hypothesis is site specific. We would now like to develop a general hypothesis, that could include temporal vegetation dynamics at a landscape scale (desertification), and that could apply to a broader region.

### GEOMORPHIC PROCESS / VEGETATIONAL MOSAIC MODEL

Drainage basins, the fundamental unit of geomorphology (Chorley 1969), are usually internally drained in the Basin and Range Physiographic Province. Landforms, soils, and vegetation develop simultaneously within these basins under a given suite of environmental and geomorphic conditions. Over 100's of years, the interactive effects of landscape level processes create a metastable state (Forman and Godron 1986, p. 436) which tends to be self-maintaining even under a fairly wide range of exogenous disturbances.

This was the situation in southern New Mexico prior to settlement (Fig. 6). The primeval desert grasslands were a mosaic of vegetation types. The low points of internally drained basins, that were occasionally flooded, but little affected by

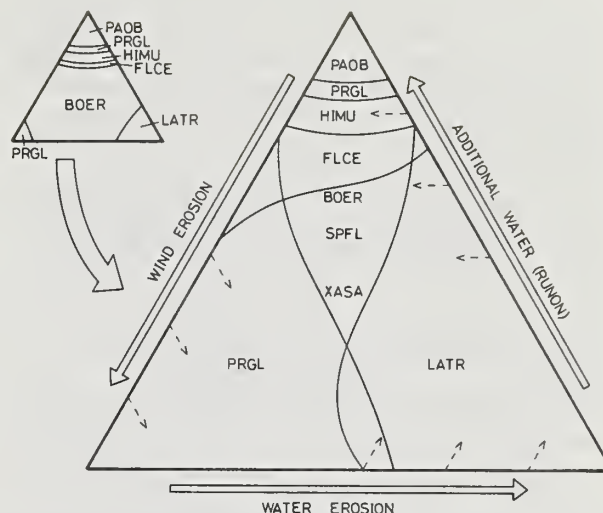


Figure 6. Generalized geomorphic process / vegetational mosaic model. Small triangle in upper left corner represents primeval vegetation mosaic. Large arrow between triangles represents a post-settlement disturbance regime. Large triangle represents current vegetational mosaic. Axes represent increasing levels of wind or water erosion and runon (axes are read parallel to the small dashed arrows). (PAOB - *Panicum obtusum*; PRGL - *Prosopis glandulosa*; HIMU - *Hilaria mutica*; FLCE - *Flourensia cernua*; LATR - *Larrea tridentata*; XASA - *Xanthocephalum sarothrae*; SPFL - *Sporobolus flexuosus*; and BOER - *Bouteloua eriopoda*)

wind or water erosion, supported playa communities dominated by the grass *Panicum obtusum*. These temporary lakes were surrounded by a gallery forest of *Prosopis glandulosa*, which also bordered major drainage channels. Depositional areas with heavy clay soils and exposed to overland sheet flow (but not holding standing water) were dominated by the grasses *Hilaria mutica* and *Scleropogon brevifolia* with occasional *Flourensia cernua* shrubs. Areas dominated by aeolian erosion, mostly restricted to blow outs along the valley border, were dominated by shrubby forms of *Prosopis glandulosa*. Areas dominated by fluvial erosion, mostly restricted to mid-piedmont slopes and the tops of small hills and ridges, were dominated by *Larrea tridentata*. Extensive grasslands, dominated by *Bouteloua eriopoda*, occupied the remaining area (perhaps as much as 90% of the total surface area) (Buffington and Herbel 1965) and were maintained by relatively homogeneous redistribution of water and vigorous internal cycling of limiting nutrients. These areas included a wide variety of soil types from deep sand to shallow calcareous gravel, and were subject to widely different levels of potential water and wind erosion (Gardner 1951, York and Dick-Peddie 1969, and Stein and Ludwig 1979).

The conversion of these primeval grasslands in southern New Mexico to a heterogeneous matrix, dominated by desert shrub species with scattered remnants of the original grassland (fig. 6), has been well documented. The combined effects of several types of disturbance - including drought, overgrazing, and trampling - fragmented the once extensive grasslands, forcing the landscape into an unstable state. The rate and extent of erosion, formerly limited by grass cover, increased dramatically (represented by an extension of the two erosion axes in the large triangle, fig. 6). Increased erosion led to increased runoff from some landforms (and increases in runoff to other landforms) and eventually to heterogeneous horizontal redistribution of limiting resources within the landscape (represented by an extension of the runoff axis, fig. 6).

Changes in the rate or level of the underlying geomorphic processes within the drainage basin led to these heterogeneous patterns of horizontal redistribution of limiting resources. These changes were most likely to occur at the transitions between erosional landforms and stable or aggradational landforms. Using the LTER/Jornada watershed as an example, the transitions between the fan collar (depositional) and the erosional fan remnant or between the erosional fan remnant and the alluvial fan apron (depositional) are most likely to exhibit instability. The current patterns of vegetation communities support this premise.

The lower portion of the fan collar is characterized by a mixture of perennial grasses with abundant subshrubs and is cut by active gullies which indicate accelerated erosion. Though this grassland community does appear degraded, its sharp boundary with the L. tridentata community occurring immediately down slope, indicates that L. tridentata is not extending into this grassland. Geomorphic processes on this degrading grassland appear relatively stable. The grassland is located near the head of the watershed and immediately below the aggradational upper portion of the fan collar which limits the headward cutting channels.

In contrast, the boundary between the erosional fan remnant and the alluvial fan collar (and their associated vegetation communities) is quite gradual. The effects of slightly accelerated erosion upslope of the fan collar become concentrated in the converging drainage network, allowing individual channels to extend down slope, isolating portions of the once depositional surface in their interfluvies. Once isolated, these interfluvial areas no longer receive additional water or organic matter. Instead they begin to be dissected with sheet rill and colonized by L. tridentata.

The distance that channels can extend down slope is determined by characteristics of the drainage basin, namely the ratio of basin relief to basin length and the catchment size.

As the relief:length ratio increases the kinetic energy of runoff increases with a corresponding increase in the effect of water erosion. Similarly, as catchment size increases, a greater volume of runoff can be produced by the watershed, resulting in greater erosion down slope.

The classification of arid rangelands using a hierarchical combination of landforms and the extant vegetation permits the identification of the major processes, such as erosion, deposition, and material redistribution, contributing to vegetation dynamics. There is great potential for this type of dynamic, landscape oriented classification to assist in our attempts to improve management of arid rangelands. For example, it should make it possible to evaluate management decisions in pastures located in upland catchments or in erosional zones of piedmont slopes in light of their probable effects on adjacent landforms. Likewise, this approach will aid in the identification of desertified grassland areas occurring on stable or aggradational landforms that have a high probability for recovery. These are the areas that should receive our greatest efforts and resources in attempts to reverse desertification trends.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

We thank Laura Huenneke, David Tongway, and Steven VanVactor for critical reviews of this manuscript.

#### LITERATURE CITED

- Allen, T.F.H. and T.B. Starr. 1982. Hierarchy: Perspectives for ecological complexity. 310 p. Univ. of Chicago Press, Chicago, Illinois.
- Buffington, L.C. and C.H. Herbel. 1965. Vegetational changes on a semidesert grassland range from 1858 to 1963. *Ecological Monographs* 35:139-164.
- Chorley, R.J. 1969. The drainage basin as the fundamental geomorphic unit. In: Water, Earth, and Man. pp. 77-99. Chorley R.J. (ed). Methuen, London.
- Cline, J.F. and W.H. Rickard. 1973. Herbage yields in relation to soil water and assimilated nitrogen. *Journal of Range Management* 26:296-298.
- Crawford, C.S. and J.R. Gosz. 1982. Desert ecosystems: Their resources in space and time. *Environmental Conservation* 9:181-195.
- Fenneman, N.M. 1931. Physiography of the western United States. 534 p. McGraw Hill Inc., New York, N.Y.
- Forman, R.T.T. and M. Godron. 1986. Landscape ecology. 620 p. John Wiley and Sons, Inc., New York, N.Y.



- Garcia-Moya, E. and C.M. McKell. 1970. Contribution of shrubs to the nitrogen economy of a desert-wash plant community. *Ecology* 51:81-88.
- Gardner, J.L. 1951. Vegetation of the Creosote bush area of the Rio Grande Valley in New Mexico. *Ecological Monographs* 21:379-403.
- Gibbens, R.P. and R.F. Beck. 1987. Increase in number of dominant plants and dominance classes on a grassland in the Northern Chihuahuan Desert. *Journal of Range Management* 40:136-139.
- Gibbens, R.P., J.M. Tromble, J.T. Hennessy, and M. Cardenas. 1983. Soil movement in Mesquite dunelands and former grasslands of Southern New Mexico from 1933 to 1980. *Journal of Range Management* 36:145-148.
- Gile, L.H., J.W. Hawley, and R.B. Grossman. 1981. Soils and geomorphology in the basin and range area of Southern New Mexico - Guidebook to the Desert Project. Memoir No. 39, 222 p. New Mexico Bureau of Mines and Mineral Resources, Socorro, New Mexico.
- Hawley, J.W. 1975. Quaternary history of Dona Ana county region, South-central New Mexico. Guidebook to the 26<sup>th</sup> Field Conference. pp. 139-150. New Mexico Geological Society, Socorro, New Mexico.
- Hennessy, J.T., R.P. Gibbens, J.M. Tromble, and M. Cardenas. 1983. Vegetation changes from 1935 to 1980 in Mesquite dunelands and former grasslands of Southern New Mexico. *Journal of Range Management* 36:370-374.
- Ludwig, J.A. and J.M. Cornelius. 1987. Locating discontinuities along ecological gradients. *Ecology* 68:448-450.
- Mabbutt, J.A. 1977. Desert landforms. 340 p. The Massachusetts Institute of Technology Press, Cambridge, Massachusetts.
- Neilson, R.P. 1986. High-resolution climatic analysis and Southwest biogeography. *Science* 232:27-34.
- New Mexico highway geological map. 1982. New Mexico Geological Society and New Mexico Bureau of Mines and Mineral Resources, Socorro New Mexico.
- Noy-Meir, I. 1973. Desert ecosystems: environment and producers. *Annual Review of Ecology and Systematics* 4:25-51.
- O'Neill, D.L. DeAngelis, J.B. Waide, and T.F.H. Allen. 1986. A hierarchical concept of ecosystems. *Monographs in Population Biology*, No. 23. 253 p. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Ordóñez, E. 1936. Principal physiographic provinces of Mexico. *Bull. of the American Association of Petroleum Geologists*. 20:1277-1307.
- Pauli, F. 1964. Soil fertility problems in arid and semi-arid lands. *Nature* 204:1286-1288.
- Peterson, F.F. 1981. Landforms of the basin and range province - defined for soil survey. Technical Bulletin No. 28. 52 p. Nevada Agricultural Experiment Station, Reno, Nevada.
- Stein, R. and J.A. Ludwig. 1979. Vegetation and soil patterns on a Chihuahuan Desert bajada. *American Midland Naturalist* 102:28-37.
- Strain, W.S. 1966. Blancan mammalian fauna and pleistocene formations, Hudspeth County, Texas. *Texas Memorial Museum, Bull.* 10. 55 p. The University of Texas, Austin, Texas.
- Swanson, F.J., T.K. Kratz, N. Caine, and R.G. Woodmansee. 1987. Landform effects on ecological features and processes. *Bioscience* (submitted).
- VanDevender, T.R. and W.G. Spaulding. 1979. Development of vegetation and climate in the Southwestern United States. *Science* 204:701-710.
- Wierenga, P.J., J.M.H. Hendrickx, M.H. Nash, J. Ludwig, and L.A. Daugherty. 1987. Variation of soil and vegetation with distance along a transect in the Chihuahuan Desert. *Journal of Arid Environments* 13:53-63.
- Wondzell, S.M. 1984. Recovery of desert grasslands in Big Bend National Park following 36 years of protection from grazing by domestic livestock. Masters Thesis, 94 p. New Mexico State University, Las Cruces, New Mexico.
- York, J.C. and W.A. Dick-Peddie. 1969. Vegetational changes in Southern New Mexico during the past hundred years. In: *Arid Lands in Perspective*. pp. 157-166. McGinnies W.G. and B.J. Goldman (ed.). The University of Arizona Press, Tucson, Arizona.

245

# A Forest Habitat Type Classification of Southern Arizona and Its Relationship to Forests of the Sierra Madre Occidental of Mexico<sup>1</sup>

Esteban H. Muldavin<sup>2</sup> and Robert L. DeVellce<sup>3</sup>

---

**Abstract.**— A floristic analysis of climax forest communities (habitat types) of southern Arizona reveals that, of the 51 plant associations present, 22 are restricted in the U.S. to the region south of the Mogollon in Arizona and have close floristic affinities to forests of the Sierra Madre Occidental of Mexico. These low elevation forests are characterized by an understory of xerophytic oaks and/or warm season grasses. A case study of a habitat type in Arizona and Mexico indicates that the complexity of forest communities greatly increases in northern Mexico as a function of the proliferation of oak and pine species. This is seen as an aid in developing an habitat type classification in Mexico. An overview of habitat type methodology is presented along with management applications, with an emphasis on timber productivity.

---

## INTRODUCTION

Forest classification systems have been widely developed and used in the western United States to ensure effective forest management. Many of these classifications are based on climax plant associations and have been termed "habitat type" classifications. Land areas capable of supporting a given natural plant association at climax are defined as the same habitat type. Climax vegetation serves as a key to the integrated environment, including climate, soil, and landform conditions as they affect vegetation composition (Daubenmire 1968; 1976). A given habitat type represents a relatively narrow range of biotic potential and, thus, a relatively narrow range of management options and improve prediction accuracy for such characteristics as timber and forage production potentials (Layser 1974, Pfister 1976; 1981).

---

<sup>1</sup>Paper presented at the symposium on strategies for classification and management of native vegetation for food production in arid zones; USA - Mexico. [Tucson, AZ, USA].

<sup>2</sup> Ph.D Candidate, Biology, [New Mexico State University, Las Cruces, NM] 88003.

<sup>3</sup> Research Associate, Mountain Research Station, University of Colorado, Nederland, CO 80466.

The forests of the northern Mexico, particularly of the Sierra Madre Occidental, may be ideally suited for the development of a habitat type classification. To evaluate this, we will review the general outline of the habitat type classification of southern Arizona by Muldavin et al. (1987). We will present a floristic analysis of the habitat types, showing the affinities of these communities to the flora of the Sierra Madre Occidental of Mexico. A case study of how an habitat type of southern Arizona relates directly to those of northern Mexico will also be presented. Finally, we will explore the management applications of habitat type classifications with special reference to coniferous species productivity and make a case for initiating habitat type research in the Sierra Madre of Mexico.

## STUDY AREA

In Arizona, the area covered by the habitat type classification of Muldavin et al. (1987) includes most of the mountainous regions south of the Mogollon Rim (Fig. 1). We will be concentrating our analysis on the Southeast Basin and Ranges which lie in a transition zone between the Colorado Plateau and the Sierra Madre Occidental.

In Mexico, our reconnaissance is limited to two areas of the Sierra Madre Occidental (Fig. 2): 1) The Sierra Huachinera which



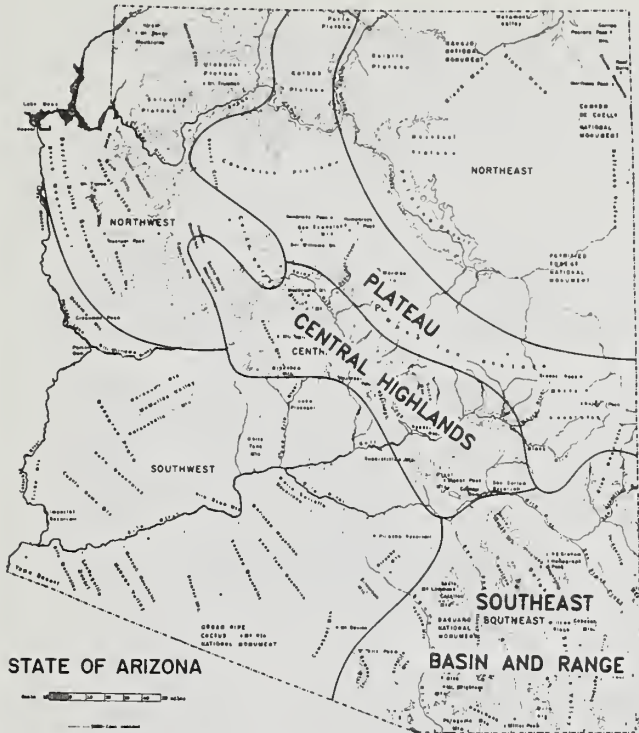


Figure 1.—The study area of Arizona includes the southern edge of the Plateau region, and the mountainous areas of the Central Highlands and Southeast Basin and Range (adapted from Sellers and Hill 1974).

straddles the states of Chihuahua and Sonora at the very northern end of the Sierra Madre Occidental, 100 km south of the International Border, and 2) the area from Tomochic to Cascada Basaseachic (due west of Chihuahua City), near the western boundary of Chihuahua with Sonora in the north central Sierra Madre.

## METHODS

### Forest Habitat Typing

Methods used to develop forest habitat type classifications are basically standardized and have been used throughout the western United States (Pfister and Arno 1980; Moir and Ludwig 1983). Samples are subjectively selected from stands of relatively undisturbed, homogeneous, climax or near climax vegetation. Stands are selected along gradients of altitude, landform, and aspect in an attempt to recover the range of vegetation-environmental variation. The inventory of each sample plot includes density counts of tree species, cover estimation of all shrubs and herbs, recording of site characteristics such as slope, aspect, elevation, landscape position and soil morphology, and the age and height of selected dominant 'site' trees to measure timber productivity.



Figure 2.— The study areas in Chihuahua, Mexico includes the Sierra Huachinera West of Casas Grandes, and the area from Tomochic to Basaseachic (base map from Rzedowski 1978).

Plots are subjected to ordination, cluster, and tabular analyses which group plots into plant associations (habitat types) that are defined by the climax tree species (Series), characteristic sets of species (Association), and the environment (Habitat Type). The types are then hierarchically arranged by Series, then Habitat type, and, if defined, Phase. Traditionally, the Series climax species and a characteristic undergrowth species form the basis of habitat type names i.e. the in habitat type name Pinus ponderosa/Quercus hypoleucoides (Greig-Smith 1983; Mueller-Dombois and Ellenberg 1974; Pfister and Arno 1980).

Finally, keys and descriptions for each habitat type are written which include vegetation and site characteristics, and management implications. Although habitat types are defined on sites with climax or near climax vegetation, areas having seral vegetation can usually be identified to habitat type by close examination of site characteristics, adjacent plant associations on the same site (Arno 1982), and by using knowledge of successional trends (Pfister et al. 1977).

### Floristic Analysis

The floristic analysis is based on the comprehensive species list for habitat types of

southern Arizona (Muldavin et al. 1987). The species were grouped by geographical affinity into four categories: 1) Petran; species which have the center of their distribution north of the study area along the Rocky Mountain Cordillera into the boreal regions of North America; 2) Madrean; species whose central distribution is south, in the Sierra Madre Occidental of Mexico; 3) Southwest; those species which are regional endemics restricted to the southwest United States, and 4) other species which are either pandemic or show patterns other than those above.

Within each habitat type, the number of species in each category was calculated as a percentage of the total number of species found. Each habitat type was then classified as either predominantly Petran or Madrean.

#### Sierra Madre Reconnaissance

Ten plots have been established in the northern Sierra Madre Occidental. From these, we have selected three plots of the *Pinus leiophylla* Series for direct comparison to the similar types in the Southeast Basin and Ranges in Arizona.

#### RESULTS

##### Floristics and Ecology of Southern Arizona Habitat Types

The habitat type classification of Muldavin et al. (1987) contains 51 habitat types from eight climax tree series. Floristic analysis of these types (Table 1) indicates that 22 of these types are predominantly Madrean in character. Habitat types of the Engelmann Spruce (*Picea engelmannii*), Sub-alpine Fir (*Abies lasiocarpa*), Blue Spruce (*Picea pungens*) and, White Fir (*Abies concolor*) Series lack or have only a minor Madrean floristic component. These are primarily high elevation types of which many are widespread in the Rocky Mountains to the north, but very limited or absent to the south. In the Southeast Basin and Ranges they are found only on the higher mountain tops (Fig. 3).

At lower elevations, the Madrean influence becomes more pronounced. Most of the mid-elevation types of the Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) Series have a strong Madrean component. The majority of the Ponderosa Pine (*Pinus ponderosa*) Series are dominated by Madrean species. At the lowest elevations, types of the Apache Pine (*Pinus engelmannii*) and Chihuahua Pine (*Pinus leiophylla*) Series are overwhelmingly Madrean in floristic composition.

Corresponding with the shift in floristic composition from Petran to Madrean dominance is a major shift in physiognomy of the habitat types. Petran types are dominated by the

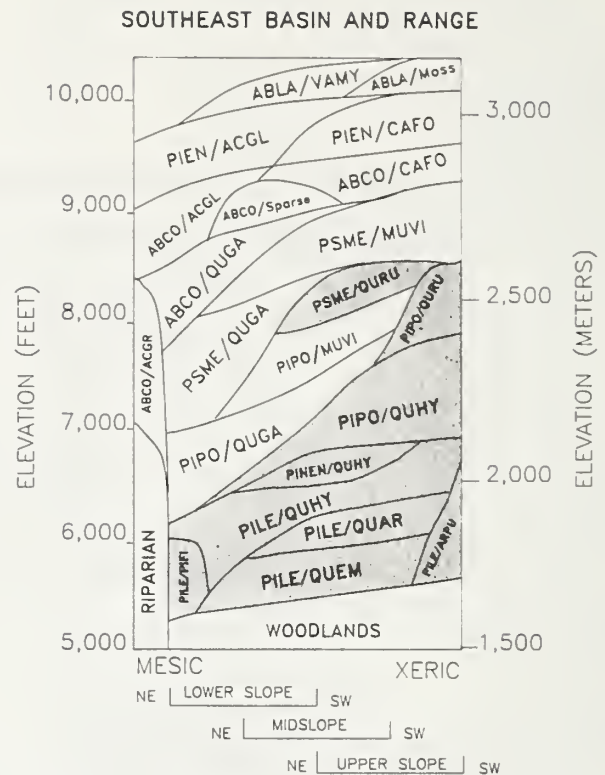


Figure 3.—Schematic illustration of the ecological relationships among the major habitat types in the Southeast Basin and Range region of Arizona. Shaded types are predominantly Madrean floristically. (Adapted from Muldavin et al. 1987)

understory by cool season grasses (*Festuca* spp., *Bromus* spp., and *Poa* spp.), mesic cool temperate shrubs (*Symphoricarpos* spp., *Holodiscus dumosa*, *Vaccinium myrtillus*), and a diverse, often luxuriant, herb layer (*Erigeron* spp., *Geranium* spp., and *Fragaria* spp.). In contrast, Madrean types are characterized by an understory of xerophytic oaks (*Quercus rugosa*, *Q. hypoleucoides*, *Q. arizonica*, and *Q. emoryi*), warm season grasses (*Muhlenbergia longiligula*, *M. emersleyi*, and *Piptochaetium fimbriatum*) with a herb layer that is sparse and often depauperate in species.

The Madrean types are restricted northward by a combination of cooler temperatures and reduced summer rainfall. The cool to cold temperatures of the Plateau (Fig. 1) exclude most Madrean types despite adequate moisture except in isolated pockets along the eastern edge of the Mogollon Rim. Heavy snow-packs and cool summers favor high montane communities of Rocky Mountain affinity. In the Central Highlands, Madrean habitat types are limited by decreasing summer precipitation and cooler temperatures. The mesic Madrean types such as the *Pinus ponderosa*/*Quercus hypoleucoides* (PIPO/QUHY) or the *Pinus ponderosa*/*Quercus rugosa* (PIPO/QRUR) and those of the Chihuahua and Apache pine Series are absent because of the lack of



Table 1.--Floristic analysis of plant associations/habitat types of southern Arizona. The abbreviated code for the association is given along with the full name. Habitat types are ordered by series. The percent composition of each floristic category is given (see text). P=Petran species; M=Madrean species; SW=Southwestern endemics; O=pandemic or other distribution. Source data and habitat type names: Muldavin et al. 1987.

HT CODE	Series/Association/Habitat Type	% COMPOSITION			
		P	M	SW	O
PIEN/Moss	<u>Picea engelmannii/Moss</u>	100	0	0	0
PIEN/CAFO	<u>Picea engelmannii/Carex foenea</u>	85	10	5	0
PIEN/ACGL	<u>Picea engelmannii/Acer glabrum</u>	85	6	3	6
PIEN/EREX	<u>Picea engelmannii/Erigeron eximius</u>	88	6	0	6
ABLA/MOSS	<u>Abies lasiocarpa/Moss</u>	100	0	0	0
ABLA/VAMY	<u>Abies lasiocarpa/Vaccinium myrtillus</u>	96	0	4	0
ABLA/VAMY-RUPA	<u>Abies lasiocarpa/Vaccinium myrtillus-Rubus parviflorus</u>	95	0	5	0
ABLA/RUPA	<u>Abies lasiocarpa/Rubus parviflorus</u>	92	0	4	2
ABLA/EREX	<u>Abies lasiocarpa/Erigeron eximius</u>	94	0	3	3
ABLA/JAAM	<u>Abies lasiocarpa/Jamesia americana</u>	93	0	0	7
PIPU/EREX	<u>Picea pungens/Erigeron eximius</u>	94	0	0	6
PIPU/JUCO	<u>Picea pungens/Juniperus communis</u>	85	6	0	3
PIPU/FEAR	<u>Picea pungens/Festuca arizonica</u>	80	6	6	3
ABCO/VAMY	<u>Abies concolor/Vaccinium myrtillus</u>	85	6	4	14
ABCO/CAFO	<u>Abies concolor/Carex foenea</u>	80	2	4	14
ABCO/ACGL	<u>Abies concolor/Acer glabrum</u>	84	3	5	8
ABCO/Sparse	<u>Abies concolor/Sparse</u>	69	13	3	6
ABCO/QUGA	<u>Abies concolor/Quercus gambelii</u>	83	14	3	3
ABCO/JUMA	<u>Abies concolor/Juglans major</u>	72	19	3	6
PSME/BRCI	<u>Pseudotsuga menziesii/Bonus ciliatus</u>	81	6	6	7
PSME/MUVI	<u>Pseudotsuga menziesii/Muhlenbergia virescens</u>	46	31	10	13
PSME/MUMO	<u>Pseudotsuga menziesii/Muhlenbergia montana</u>	42	23	23	7
PSME/QUGA	<u>Pseudotsuga menziesii/Quercus gambelii</u>	38	34	14	4
PSME/QRUR	<u>Pseudotsuga menziesii/Quercus rugosa</u>	35	40	12	13
PSME/QUHY	<u>Pseudotsuga menziesii/Quercus hypoleucoides</u>	33	42	12	13
PSME/QUAR	<u>Pseudotsuga menziesii/Quercus arizonica</u>	35	44	9	11
PSME/ACGR	<u>Pseudotsuga menziesii/Acer grandidentatum</u>	36	44	9	11
PIPO/FEAR	<u>Pinus ponderosa/Festuca arizonica</u>	63	8	12	17
PIPO/MUVI	<u>Pinus ponderosa/Muhlenbergia virescens</u>	40	37	15	8
PIPO/MUMO	<u>Pinus ponderosa/Muhlenbergia montana</u>	40	25	18	17
PIPO/QUGA	<u>Pinus ponderosa/Quercus gambelii</u>	46	21	21	12
PIPO/BOGR	<u>Pinus ponderosa/Bouteloua gracilis</u>	32	22	16	30
PIPO/QRUR	<u>Pinus ponderosa/Quercus rugosa</u>	30	45	13	12
PIPO/QUHY	<u>Pinus ponderosa/Quercus hypoleucoides</u>	24	40	14	22
PIPO/QUAR	<u>Pinus ponderosa/Quercus arizonica</u>	31	35	15	19
PIPO/QUEM	<u>Pinus ponderosa/Quercus emoryi</u>	30	42	10	18
PIPO/ARPU	<u>Pinus ponderosa/Arctostaphylos pungens</u>	33	32	17	16
PIPO/ACGR	<u>Pinus ponderosa/Acer grandidentatum</u>	39	42	13	6
PIPO/JUMA	<u>Pinus ponderosa/Juglans major</u>	33	37	14	16
PINEN/MULO	<u>Pinus engelmannii/Muhlenbergia longiligula</u>	33	47	17	3
PINEN/QRUR	<u>Pinus engelmannii/Quercus rugosa</u>	12	75	12	0
PINEN/QUHY	<u>Pinus engelmannii/Quercus hypoleucoides</u>	27	53	12	8
PINEN/QUAR	<u>Pinus engelmannii/Quercus arizonica</u>	10	70	13	7
PINEN/QUEM	<u>Pinus engelmannii/Quercus emoryi</u>	6	78	6	10
PILE/QUHY	<u>Pinus leiophylla/Quercus hypoleucoides</u>	15	66	10	9
PILE/QUAR	<u>Pinus leiophylla/Quercus arizonica</u>	17	64	13	6
PILE/QUEM	<u>Pinus leiophylla/Quercus emoryi</u>	16	64	12	8
PILE/PIFI	<u>Pinus leiophylla/Piptochaetium fimbriatum</u>	12	71	8	9
PILE/ARPU	<u>Pinus leiophylla/Arctostaphylos pungens</u>	23	46	19	12
PILE/QUITO	<u>Pinus leiophylla/Quercus toumeyi</u>	0	89	5	6



adequate summer moisture at sufficiently long and warm growing seasons. Instead, the more xeric Pinus ponderosa/Quercus arizonica and Pinus ponderosa/Quercus emoryi types are found at low elevations, and the Pinus ponderosa/Quercus gambelii and Pseudotsuga menziesii/Q. gambelii types at the cooler, higher elevations. The highest diversity of Madrean types in the United States occurs in the Southeast Basin and Ranges region (Fig. 3) where temperatures are milder and summer precipitation greater. This region as a whole represents a highly diverse transition zone between the Sierra and Rocky Mountain Cordilleran vegetation.

#### Habitat Types in Southern Arizona and Mexico: A Case Study.

The low elevation habitat types of the Southeast Basin and Range region of Arizona are northern extensions or modified phases of communities that are more common in the northern Sierra Madre Occidental of Mexico. As an example, we will use the Pinus engelmannii/Quercus hypoleucoides Habitat Type (PINEN/QUHY HT) and briefly examine how this type is expressed in southern Arizona, the Sierra Huachinera, and at Cascada Basaseachic. The foregoing discussion is based on a limited, initial field reconnaissance in Mexico, but through it some of the continuities and discontinuities between northern Mexico and southern Arizona can be illustrated.

Figure 4 depicts a typical stand of PINEN/QUHY found at about 2,150 M in southeast Arizona. The type is characterized by an open canopy of mature Apache pine (Pinus engelmannii) with ample seedlings and saplings below. Chihuahua pine (Pinus leiophylla) is often a sub-dominant associate along with alligator bark juniper (Juniperus deppeana). The undergrowth is dominated by shrubby silver-leaf oak (Quercus hypoleucoides) with cover ranging as high as 80%. Other oaks such as net-leaf (Q. rugosa), Arizona white (Q. arizonica), and Emory (Q. emoryi) may be present but their cover is usually low (less than 5%). The herb layer is low in cover and diversity, and dominated by long tongue muhly grass (Muhlenbergia longiligula). This is one of the more mesic of the Madrean types occupying the mid and upper slopes at mid elevations in southeast Arizona (Fig. 3).

In the Sierra Huachinera, this type is found with essentially the same composition and site conditions (Fig. 5). Apache pine is the overstory dominant, but Arizona pine (Pinus arizonica) in this case is the sub-dominant rather than Chihuahua pine. Silver-leaf oak still dominates the understory along with long-tongue muhly. It is in the Sierra Huachinera, though, that the proliferation of xerophytic oak species begins and increases as you go south into the central Sierra Madre. For example, it is possible in the Sierra Huachinera to have



Figure 4.—A typical stand of the Apache pine/silverleaf oak habitat type in the Chiricahua Mountains of southeast Arizona.



Figure 5.—A stand of the Apache pine/silverleaf oak in the Sierra Huachinera of northern Mexico.



Q. crassifolia, a close relative of Quercus hypoleucoides (with which it hybridizes), in a stand of PINEN/QUHY. The situation becomes more complex the further south one goes as more oaks and new pines are encountered which are not present in Arizona.

Another 200 km further south, west of Tomochic toward Basaseachic we recorded fragments of the PINEN/QUHY habitat type, but here the type is immersed in a complex mosaic of other habitat types that have yet to be described in detail. Figure 6 shows what is best described as the Pinus engelmannii/Quercus crassifolia Habitat Type. Apache pine is still the dominant with ample reproduction. Chihuahua pine is the sub-dominant. But silver-leaf oak is absent and Q. crassifolia dominates with about 25% cover. Arizona white oak is less than 2% cover and Emory oak has been replaced by Q. coccolobifolia, (a relative of Emory oak).

The site at Cascada Basaseachic was sampled to exemplify the increasing complexity of forest communities in the Sierra Madre of Mexico relative to those in southern Arizona. In Figure 7, Apache pine still dominates the overstory, but in association with a new pine, P. lumholtzii, as well P. arizonica. Silver-leaf is still present but Q. crassifolia dominates along with Q. coccolobifolia, Q. durifolia, Q. rugosa, Q. arizonica, and Q. sideroxyla. Long-tongue muhly is still the understory dominant, but there is a higher overall diversity with a entire suite of species that are present here, but not in southern Arizona.

This diversity at first appears bewildering and an impediment to classification. But to the contrary, the forests of the Sierra Madre Occidental are ideally suited for habitat typing because the increased diversity in plant assemblages may help provide the information necessary to differentiate some of the finer aspects of the environment.

#### MANAGEMENT APPLICATIONS

Habitat classifications have been put to use in many natural resource management areas such as assessing range capacity, wildlife habitat needs, recreation use impact, pest management problems, as well as timber productivity. But the primary focus in the U.S. has been toward timber. Daubenmire (1976) laid the theoretical groundwork for the application of vegetation classification in assessing productivity. Mathiasen et al. (1986) have shown significant differences for Douglas-fir among different habitat types. Muldavin et al. (1987) have shown similar trends for Ponderosa pine. There is little or no silvicultural or productivity data available on Chihuahua pine or Apache pine in the U.S. Here we present some preliminary data on Chihuahua pine growth that shows some trends in the relationship of productivity to habitat type.



Figure 6.—To the west of Tomochic, Mexico, this stand is dominated by Apache pine, but with Quercus crassifolia and Q. coccolobifolia in the understory rather than Quercus hypoleucoides (silverleaf oak).

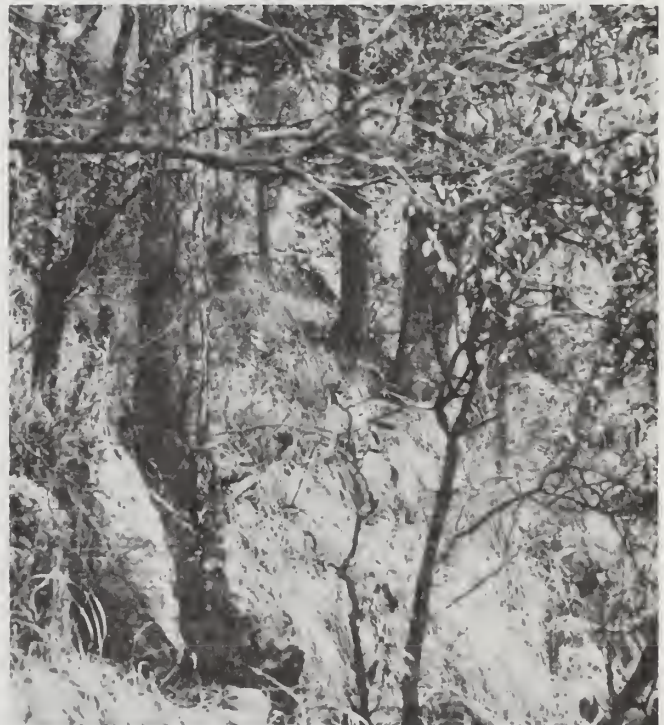


Figure 7.—At Cascada Basaseachic, this Apache pine community is dominated by numerous other oaks besides silverleaf. Note the high cover of longtongue muhly grass in this ungrazed site.



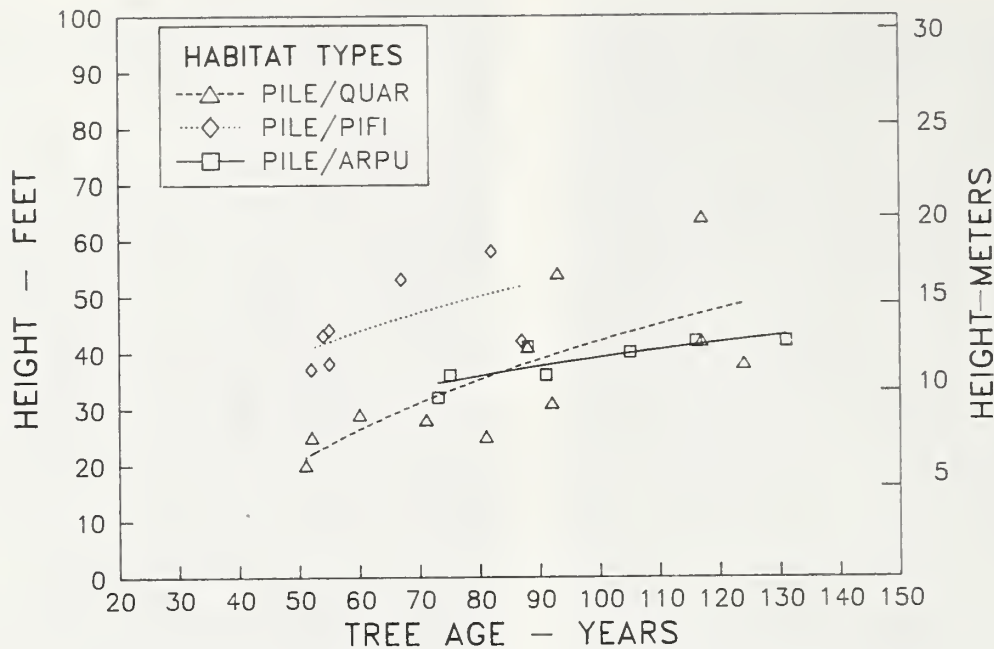


Figure 8.—A comparison of height vs. age relationships for Chihuahua pine (*Pinus leiophylla*) among three different habitat types. Refer to Table 1 for the definition of the type codes.

Chihuahua pine is a short lived tree which, in Arizona, is of relatively short stature (less than 20 m). Figure 8 depicts the differences in growth among three habitat types of the Chihuahua pine series. A logarithmic regression was applied to the points of each habitat type to give an initial approximation of the general trends of growth. The *Pinus leiophylla*/*Piptochaetium fimbriatum* habitat type (PILE/PIFI HT), which is found on well watered, lower slopes and alluvial terraces, shows the highest rate of growth, reaching near the potential of the species within 80 years. In the *P. leiophylla*/*Quercus arizonica* type (PILE/QUAR HT), growth is slower and the potential of species is probably not normally reached until after 100 years. This lowered productivity corresponds to the drier mid to upper slope position of the type. The *P. leiophylla*/*Arctostaphylos* type (PILE/ARPU HT) is found on ridge and mesa tops with lithic soils and is the most xeric of the types shown. Chihuahua pine seldomly exceeds 12 m in this community and never reaches the potential of the species regardless of age.

This data is based on field determinations of age and height with limited precision instrumentation. We believe, that with greater precision, that the fit of these curves would be considerably better and that future, intensive analysis will better show the strong correlations between site productivity of Chihuahua pine and habitat type.

#### SUMMARY and CONCLUSIONS.

Forest habitat type classifications have a relatively long history of development and application in the western United States. Mexico has yet to implement a high resolution system of classification for its vegetation resources. It is the authors' belief that such classifications could be produced using standardized techniques developed in the western United States. We have shown here that many of the habitat types described for southern Arizona by Muldavin et al. (1987) are related floristically to the forests of the Sierra Madre Occidental of northern Mexico. A case study of the *Pinus engelmannii*/*Quercus hypoleucoides* Habitat Type (Chihuahua pine/silver-leaf oak HT) indicates that this type can be found not only in southern Arizona, but at least 300 km south in the north central Sierra Madre. But the forests of the Sierra Madre are more diverse as a function of the proliferation of oak and pine species which are not found in southern Arizona, and as a consequence form a complex mosaic of communities. This increased diversity may be an aid rather than a hindrance in delineating a forest community classification for Mexico by embodying the ecological information necessary to differentiate finer aspects of the environment.

A forest classification of the Sierra Madre would provide an ecologically based, high resolution, land management tool for assessing range potential, wildlife needs, recreation impact,



pest hazards, and in particular forest tree productivity. We have shown here, general differences in site productivity for Chihuahua pine as a function of habitat type. With a high precision methodology to determine the age and height relationships, a habitat type classification can be a good predictor of site productivity.

Forest habitat typing in Mexico represents a new frontier not only in the science of vegetation ecology but also in the application of ecological principles in management of this valuable resource for the future well being of the citizens of Mexico.

#### LITERATURE CITED

- Arno, S.F. 1982. Classifying forest succession on four habitat types in western Montana. p. 54-62. In Forest succession and stand development research in the Northwest. J.E. Means, editor. Northwest Scientific Association, Corvallis, Oregon.
- Daubenmire, R.F. 1968. Plant communities: A textbook of plant synecology. 300 p. Harper and Row, New York, N.Y.
- Daubenmire, R.F. 1976. The use of vegetation in assessing the productivity of forest lands. *Botanical Review* 42:115-143.
- Greig-Smith, P. 1983. Quantitative plant ecology. *Studies in Ecology* Volume 9. Third edition. 359 p. University of California Press. Berkeley and Los Angeles, California.
- Layser, E.F. 1974. Vegetation classification: Its application to forestry in the northern Rocky Mountains. *Journal of Forestry* 72:354-357.
- Mathiasen, R.L., E.A. Blake, and C.B. Edminster. 1986. Estimates of site potential for Douglas-fir based on site index for several southwestern habitat types. *Great Basin Naturalist*. 46(2):277-280.
- Moir, W.H. and J.A. Ludwig. 1983. Methods of forest habitat type classification. p. 5-10. In *Proceedings of the workshop on southwestern habitat types*. [Albuquerque, New Mexico. April 6-8, 1983] USDA Forest Service, Southwestern Region, Albuquerque, New Mexico.
- Mueller-Dombois, D. and H. Ellenberg. 1974. *Aims and methods of vegetation ecology*. 547 p. John Wiley and Sons, New York, N.Y.
- Muldavin, E., R. L. DeVelice, and F. Ronco, Jr. 1987. A classification of forest habitat types south of the Mogollon Rim in Arizona. USDA Forest Service General Technical Report, RM-(in press), Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Ft. Collins, CO.
- Pfister, R.D. 1976. Land capability assessment by habitat types. p. 312-325. In *America's renewable resource potential—1975: The turning point*. Proceedings of the 1975 national convention of the Society of American Foresters. Washington, D.C.
- Pfister, R.D. 1981. Habitat type classification for managing western watersheds. p. 59-67. In *Interior West watershed management*, D.M. Baumgartner, editor. Washington State University, Pullman, Washington.
- Pfister, R.D. and S.F. Arno. 1980. Classifying forest habitat types based on potential climax vegetation. *Forest Science* 26:52-70.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetacio de Mexico*. Editorial Limusa, Mexico. 432p.
- Sellers, W.D. and R.H. Hill (eds.). 1974. *Arizona Climate*. Univ. of Arizona Press, Tucson AZ. 616p.

245

# A Research Strategy for Ecological Survey: Floristics and Land Use in the Tamaulipan Thornscrub, North-Eastern Mexico<sup>1</sup>

Nick Reid, Mark Stafford Smith, Peter Beyer-Münzell, and Jorge Marroquín<sup>2</sup>

---

Abstract.--A research strategy was developed to identify the ecological effects of management and the physical environment in the subtropical, semi-arid thornscrub of north-eastern Mexico. Classification and ordination analyses of vegetation samples stratified across a small number of climatic sub-regions, substrate types and topographic situations suggested that these variables were responsible for the major floristic differences. The distribution of most plant species was related to the variation in the physical environment. Ordination of samples in each major floristic group revealed evidence of vegetation change due to overgrazing but not to selective cutting of timber and firewood.

---

## INTRODUCTION

The Tamaulipan thornscrub is a diverse, dense, woody formation covering about 125,000 km<sup>2</sup> of the Gulf coastal plain in north-eastern Mexico and southern Texas (Johnston 1963; Udvardy 1975). Heiseke & Foroughbakhch (1985) reported that uncontrolled grazing and wood extraction may have degraded thornscrub productivity in the region of Linares, Nuevo León. Silvicultural and agroforestry practices offer a solution for preventing further degradation of the natural vegetation and for increasing forage and wood production (Foroughbakhch & Peña-loza 1987; Foroughbakhch et al. 1987. this

volume). However, extrapolation of the site-specific results of agroforestry research is difficult because a number of ecological factors vary across the region. The separate effects of climate, substrates, topography and management need to be distinguished in order to identify the sites where silvicultural and range research might be relevant.

The present study was initiated in order to identify the major ecological determinants of the floristic variation in the Tamaulipan thornscrub. A sampling and analytical strategy incorporating the multivariate methods of Foran et al. (1986) was developed to assess the separate effects of physical environmental variables and management on vegetation. In this paper, we (1) test the assumption that climate, substrate and topography are the principal factors associated with floristic variation in the regional vegetation; (2) relate variation in each of the physical environmental variables to floristic differences in the vegetation; and (3) seek relationships between vegetation and management within each major floristic group.

## METHODS

### Study Area

Fieldwork was conducted within a 20 km radius of Linares, N.L. in the piedmont of

---

<sup>1</sup>Paper presented at the symposium "Strategies for Classification and Management of Native Vegetation for Food Production in Arid Zones" (Tucson, Arizona, October 12-16, 1987).

<sup>2</sup>Nick Reid is Professor in the Facultad de Silvicultura y Manejo de Recursos Renovables, Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares, N.L. 67700, México. Mark Stafford Smith is Research Scientist with the CSIRO Division of Wildlife & Rangelands Research, Alice Springs, N.T. Australia. Peter Beyer-Münzell was Professor in the Facultad de Silvicultura y Manejo de Recursos Renovables, Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares, N.L. México, and Jorge Marroquín is Assistant Director of the same Faculty.



the Sierra Madre Oriental (fig. 1). The region has a subtropical semiarid climate, with hot humid summers and severe frosts in winter (Norwine 1978; Synnott 1986). A strong climatic gradient prevails across the region, due to the orographic effect of the Sierra and the gradual increase in elevation from east to west. Conditions are relatively cool and humid south-west of Linares, grading to warm and dry to the north-east (fig. 1; SPP 1981a). The principal landforms are plains and gentle slopes, interspersed with ridges and hills up to 50 m higher than the surrounding terrain. Soils of the plains and lower slopes are dark grey silty-clay vertisols. On gentle hills and upper slopes, outcrops of Upper Cretaceous lutita (lutite or siltstone) occur, often overlain by silty-clay-loams. Scattered Pliocene and Quaternary palaeoriver terraces of conglomerate, often consolidated in a limestone (caliche) matrix, are found throughout the region. Caliche terraces usually cap ridges and rises or occur as raised benches because they are more resistant to weathering than the lutita bedrock<sup>3</sup>.

The native vegetation is a spiny scrub dominated by woody plants (Heiseke 1986). Some 80 shrubs and trees varying in height from 1 to 8 m are commonly encountered. The rural population exploit the thornscrub for a wide variety of purposes (Heiseke & Foroughbakhch 1985). The most extensive land-use is the rough grazing of cattle and goats. The natural vegetation also provides firewood, fenceposts and construction timber, foodstuffs, herbs and natural medicines. Wildfire is unknown in the thornscrub near Linares and human burning of the natural vegetation is rare, so the present vegetation has developed in the absence of fire.

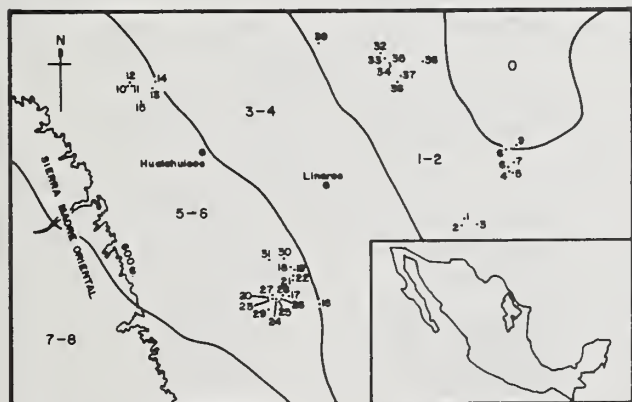


Figure 1.--Location of sites in the region of Linares, N.L., north-eastern Mexico. Sites were sampled in two climatic subregions of the SPP (1981b) Map of Soil Moisture (based on Thornwaite's soil water store index). The dry and humid subregions correspond to 1-2 and 5-6 months of the year with sufficient soil moisture to permit plant growth, respectively.

## Research Philosophy

Climate, substrate and topography determine the potential for vegetation development in any one site near Linares. We selected two climatic subregions, three substrate types and three topographic situations which preliminary observations indicated were responsible for the major differences in vegetation between sites. A dry and a humid subregion were delimited towards either end of the regional climatic gradient (fig. 1). Substrate types were (1) deep soils (>50 cm in depth), (2) skeletal soils (<50 cm in depth) over caliche, and (3) skeletal soils over lutita. The topographic situations were (1) upper slopes, (2) level sites and (3) depressions, chosen for their different effects on run-off and the soil moisture store.

Given sufficient time free from interference by man, two sites with the same combination of climate, substrate and topography (i.e. in the same environmental unit) will share a similar floristic composition. However, such sites can support very different vegetation owing to varying management influences such as grazing and cutting.

To summarize then, we expected that most floristic variation between environmental units would be related to the major differences in the physical environment, and that management effects would be most easily detected in environmentally homogeneous groups of sites.

## Survey Methods and Analysis

We sampled 39 sites, 0.5 ha in area, stratified across nine environmental units (table 1). At each site, the slope was measured and soils data were recorded from 3 to 5 pits, 20 to 40 cm deep. Where the substrate permitted, a soil core was extracted from each pit to a depth of 1 m in order to measure soil depth.

A list of the woody and large succulent plants was compiled at each site. Plant cover was measured in open vegetation by estimating the canopy area of plants along a transect. In dense vegetation, cover was measured using the point interception method. A site cutting index was calculated by counting all the cut stems, branches and stems  $\geq 3$  cm in diameter. In order to assess grazing pressure, we counted the dung of large (cattle and horses), medium (goats and deer) and small (rabbits and hares) herbivores, and rated the degree of browsing damage to woody plants (Reid et al. 1987). A site browsing index was calculated as the mean of the browsing damage index of each species.

<sup>3</sup>Ruiz, Miguel. In prep. Soils and landforms in the region of Linares, N.L. México. Ph.D. Thesis. U. of Göttingen, F.R.G.



We used the classification and ordination programs in the TAXON package of programs developed by the CSIRO Division of Computing Research (Ross et al. 1983).

## RESULTS

### Main Floristic Groups

The initial classification sorted the 39 sites into four groups of sufficient size for further analysis (fig. 2). The initial split in the dendrogram separated the 8 dry caliche sites (group A) from the rest. The second division separated the remaining 9 dry sites (all with deep soils; group B) from the humid sites. The third division separated 12 sites with mainly deep soils (group C) from 10 sites with mainly skeletal soils (group D). Thus the main divisions in the classification analysis corresponded with climate and substrate type (table 1).

Two sites on caliche slopes (25 & 30) were floristically classified with humid, deep soil sites in group C, and three deep soil sites (21, 27 & 28) were grouped in the humid, skeletal soil group D (table 1). Sites 27 and 28 had deep silty-clay-loam soils and showed more floristic affinity with skeletal soil sites than with the silty-clay vertisol sites of group C. Sites 25 and 30 lacked most of the character species of either humid group and site 30, at least, had more soil overlying the hardpan than other caliche sites. Site 21 had a substrate typical of the vertisol sites of group C but lacked a majority of the character species of either humid floristic group.

Table 1.--Stratification of sites across environmental units, and classification of floristic groups using the Information Statistic with incidence data.

Environmental Units			No. of sites	Classification of sites	Floristic group
Climate	Substrate	Topography			
Dry	Caliche	Slope	4	1 3 9 39	A
Dry	Caliche	Level	4	2 8 32 33	
Dry	Deep soil	Level	6	4 5 6 34 35 36	B
Dry	Deep soil	Depression	3	7 37 38	
Humid	Deep soil	Slope	1	10	C
Humid	Deep soil	Depression	4	12 14 22 23	
Humid	Deep soil	Level	8	16 17 18 19 26 21 27 28	
Humid	Caliche	Slope	5	25 30 13 15 31	D
Humid	Lutita	Slope	4	11 20 24 29	

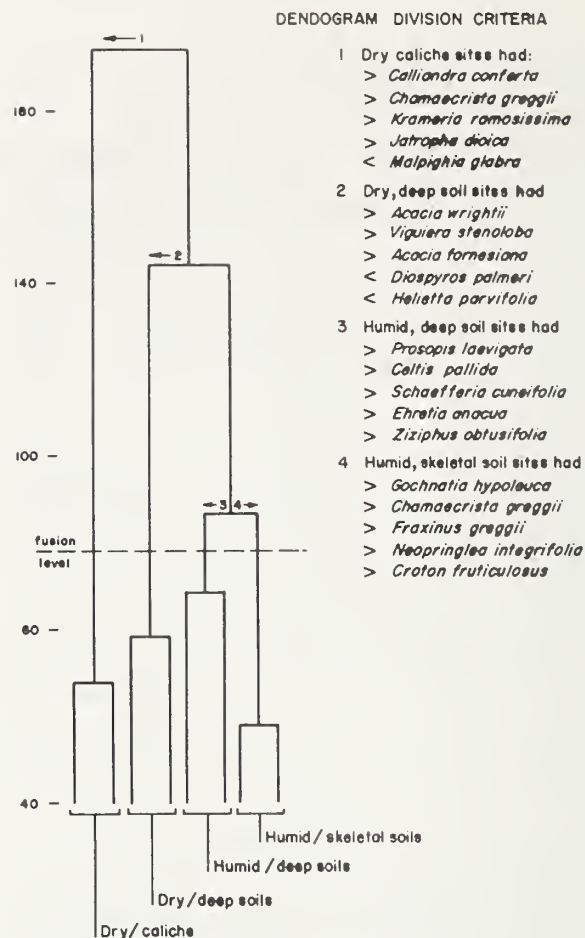


Figure 2.--Dendrogram of the classification of sites after application of the Information Statistic to the species-site matrix of incidence data.

In the ordination of the species-site data, the first three vectors accounted for 18, 16 and 8%, respectively, of the variance. Sites were grouped into their *a priori* defined environmental units and plotted against vectors 1 to 3 in figures 3 and 4. Correlations between site loadings and physical environmental variables masked out of the ordination showed that the first vector ordinated sites along a combined substrate-topography axis, with caliche and upper slope sites at one extreme ( $P < 0.001$ ) and deep soil sites and depressions at the other ( $P < 0.001$ ). The second vector represented a simple climatic gradient between dry and humid sites ( $P < 0.001$ ), upper slopes ( $P < 0.05$ ) and lutita sites ( $P < 0.01$ ) clustering at the humid end of the gradient. The third vector was correlated with topography, with level sites ( $P < 0.01$ ) at one extreme and depressions ( $P < 0.001$ ) at the other. Thus the first three floristic vectors were related to climate, substrate or topography (table 2).

The four major floristic groups separated out in the plots of the first three vectors (figs 3 & 4) with the exception of site 21, which overlapped with the humid, deep soil group C, although classified in the humid, skeletal soil group D.

#### Relationships between plant species and environment

Of the 78 taxa of woody and large succulent plants recorded in the study, 44% showed significant deviations from random occurrence among floristic groups. Table 2 lists the species, the floristic groups which they characterize and the environmental associations of each group.

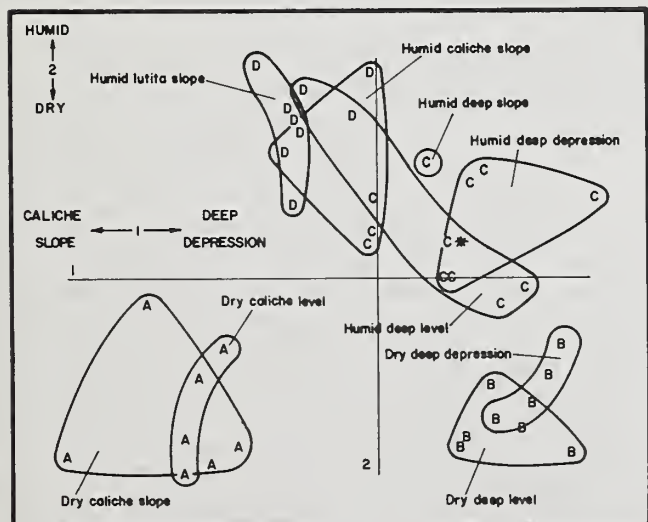


Figure 3.--Ordination of sites against vectors 1 and 2 after application of the Information Statistic to the species-site matrix of incidence data. The letters A to D refer to the floristic groups. The star represents site 21.

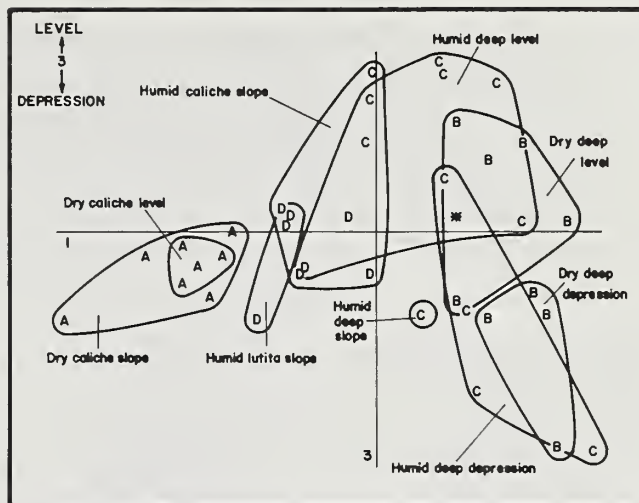


Figure 4.--Ordination of sites against vectors 1 and 3 after application of the Information Statistic to the species-site incidence data. The letters A to D refer to the floristic groups defined by classification analysis. The star represents site 21.

Table 2 also shows the taxa correlated with the first three ordination vectors. 72% of taxa were correlated with one or more vectors. The first vector separated species characteristic of the caliche dominated groups (A & D) such as *Chamaecrista greggii* and *Helietta parvifolia*, from species of deep soils such as *Celtis pallida* and *Zanthoxylum fagara*. Vector 2 identified a group of humid dwelling species such as *Diospyros palmeri* and *Randia* spp., including those typical of shallow soils on upper slopes (e.g. *Fraxinus greggii* and *Cochnatia hypoleuca*). At the other extreme were species frequent on dry level sites such as *Opuntia leptocaulis* and *Porlieria angustifolia*. Correlations with the third vector separated taxa characteristic of depressions (e.g. *Parkinsonia aculeata* and *Ehretia anacua*) from those more frequent on level sites (*Castela texana* and *Amyris madrensis*).

#### Management effects

For each floristic group in turn, the Bray-Curtis metric of dissimilarity was applied to the plant cover data followed by ordination of the sites using Principal Coordinates Analysis (PCoA). The first three vectors of the ordinations of groups A to D accounted for 65, 63, 61 and 57% of the cumulative variance, respectively. Table 3 shows the correlations between the principal vectors of each ordination and the site attributes masked out of the analyses.

The browsing index was marginally or significantly correlated with vectors in each ordination, and negatively correlated with woody understorey cover in each floristic

Table 2.--Relationships between plant species and environmental variables. Associations of species and environmental variables with floristic groups (two-tailed  $\chi^2$  tests,  $P \leq 0.05$ ) are shown in columns A to D. Correlations ( $P \leq 0.05$ ) of ordination vectors with species and environmental variables are positive (+) or negative (-).

		Floristic Group				Vector		
		A	B	C	D	1	2	3
ENVIRONMENTAL CORRELATES								
Climate	Humid			+	+		+	
	Dry	+	+				-	
Substrate	Deep			+		+		
	Caliche	+			+	-		
Topography	Lutita				+		+	
	Slope	+			+	-	+	
	Level	+	+	+				+
	Depression		+	+		+	-	
SPECIES								
<i>Acacia berlandieri</i>						-	+	
<i>Acacia constricta</i>		+				-	-	
<i>Acacia farnesiana</i>			+			+		-
<i>Acacia schaffneri</i>							+	
<i>Acacia wrightii</i>			+			+	-	
<i>Agave lechuguilla</i>						-		
<i>Amyris madrensis</i>							+	
<i>Amyris texana</i>			+	+	+	+	+	+
<i>Berberis chochoco</i>				+	+		+	
<i>Bernardia myricaefolia</i>							+	+
<i>Bumelia celastrina</i>			+	+	+		+	
<i>Caesalpinia atropunctata</i>						+		
<i>Calliandra conferta</i>		+				-	-	
<i>Calliandra eriophylla</i>						-		
<i>Chamaecrista greggii</i>		+			+	-		
<i>Castela texana</i>			+	+		+	+	
<i>Celtis laevigata</i>							-	
<i>Celtis pallida</i>			+	+		+		
<i>Citharexylum berlandieri</i>				+	+		+	+
<i>Condalia hookeri</i>			+	+	+		+	
<i>Croton fruticulosus</i>		+		+	+	-	+	
<i>Diospyros texana</i>						+	+	
<i>Diospyros palmeri</i>				+	+		+	
<i>Ehretia anacua</i>						+	-	
<i>Eysenhardtia polystachya</i>		+		+	+	-		
<i>Forestiera angustifolia</i>			+	+	+	+	+	
<i>Forestiera racemosa</i>							-	
<i>Fraxinus greggii</i>					+		+	
<i>Gochnatia hypoleuca</i>				+		+		
<i>Helietta parvifolia</i>		+		+	+	-	+	
<i>Heliotropium calcicicola</i>							+	
<i>Heliotropium torreyi</i>						-		
<i>Jatropha dioica</i>		+				-	-	
<i>Krameria ramosissima</i>		+				-	-	
<i>Leucophyllum frutescens</i>						-		
<i>Malpighia glabra</i>			+	+	+	+	+	
<i>Morus microphylla</i>							-	
<i>Neophriglea integrifolia</i>				+		-	+	
<i>Opuntia lindheimeri</i>						-		
<i>Opuntia leptocaulis</i>		+	+	+			-	+
<i>Parkinsonia aculeata</i>						+	-	
<i>Pistacia texana</i>							+	-
<i>Pithecellobium ebano</i>		+	+			+		
<i>Pithecellobium pallens</i>		+	+	+		+	+	
<i>Porlieria angustifolia</i>							-	+
<i>Prosopis laevigata</i>		+	+			+	-	
<i>Randia spp</i>		+	+	+		+	+	
<i>Rhus pachyrrachis</i>				+			+	
<i>Sapindus saponaria</i>							-	
<i>Sargentia greggii</i>							-	
<i>Schaefferia cuneifolia</i>							-	+
<i>Viguiera stenoloba</i>		+				+		
<i>Xylosma flexuosa</i>				+	+		+	
<i>Yucca filifera</i>						-	+	
<i>Zanthoxylum fagara</i>		+	+	+		+	+	
<i>Ziziphus obtusifolia</i>		+	+			+	-	+
Unknown taxon		+				+		-

group ( $r_p$  varied between -0.49 and -0.65,  $0.08 \leq P \leq 0.27$ ). In dry, deep soil sites, browsing index and quantity of large herbivore dung were positively correlated with the cover of the toxic shrub, *Karwinskia humboldtiana* ( $P < 0.01$ ), and the spiny succulent, *Opuntia leptocaulis* ( $P < 0.01$ ), and browsing index was correlated with the cover of the leathery-leaved *Cordia boissieri* ( $P < 0.05$ ). Large herbivore dung was also positively correlated with *O. leptocaulis* cover in dry caliche sites ( $P < 0.01$ ). In the eight humid, deep soil sites, browsing index and the quantity of large herbivore dung were negatively correlated with the cover of the forage shrub, *Amyris texana* ( $r_p = -0.89$  and  $-0.68$ ,  $P < 0.01$  and  $P = 0.06$ , respectively). In the same sites, quantity of large herbivore dung was negatively correlated with both total woody cover and understory cover ( $P < 0.05$ ).

The number of cut stems was significantly correlated with the first vector in the ordinations of the dry caliche and the humid, skeletal soil groups (table 3). In dry caliche sites, the number of cut stems was correlated with upperstorey cover ( $P < 0.001$ ) and height ( $P < 0.05$ ) of the vegetation. Cut stems were positively correlated with the cover of the important timber and firewood species such as *Helietta parvifolia*, *Gochnatia hypoleuca* and *Cordia boissieri* ( $P \leq 0.05$ ) in the skeletal soils group, and with the cover of *Condalia hookeri* ( $P < 0.01$ ) in the humid, deep soil sites.

## DISCUSSION

The use of multivariate and correlation analyses has important implications for both the interpretation of results and research strategy. Multivariate statistical techniques such as the Principal Coordinates Analyses described above are based on restrictive mathematical models which may be inconsistent with the ecological behaviour of plants (Gauch 1982; Austin 1985), and correlations between variables do not permit the inference of cause or effect. Moreover, linear correlations between explanatory variables and floristic ordination vectors may overlook significant pattern because linear ordination techniques tend to distort non-linear plant response curves in two or more dimensions (Austin 1985). Therefore, multivariate and correlation analyses cannot provide conclusive evidence of causal relationships between vegetation and ecological variables (Gauch 1982), but they are useful in generating hypotheses about floristic variation and its ecological determinants (Foran et al. 1986). Research strategies for ecological inventory which incorporate multivariate analysis should therefore conform to an iterative cycle of (1) field data collection, (2) analysis and hypothesis generation, and (3) further field work and experimentation to test the hypotheses



Table 3.--Correlations of principal vectors with management variables and descriptors of vegetation structure masked out of the Bray-Curtis ordinations of each floristic group. +/- indicate the sign of the correlation. Degrees of freedom vary between 5 and 7.  $P < 0.1$  unless otherwise indicated.

Vector	Floristic Groups (No. of sites)			
	A Dry Caliche (8)	B Dry Deep (9)	C <sup>1</sup> Humid Level (3)	D <sup>2</sup> Humid Skeletal (9)
1	+ cut stems** + veg. height* + upperstorey cover**	+ upperstorey cover*	+ upperstorey cover* - understorey cover*	- cut stems**
2	+ medium herb. dung** - large herb. dung	+ browse index + small herb. dung*** - understorey cover* - veg. height**	- browse index + veg. height**	
3	+ browse index* - understorey cover			- browse index*** - large herb. dung + understorey cover

<sup>1</sup>Bray-Curtis ordination of the original 12 sites revealed considerable variance due to substrate and topographic differences between sites. The dataset was therefore modified to comprise eight humid, deep soil sites by eliminating depression and caliche sites and by inclusion of sites 21 and 28.

<sup>2</sup>Site 21 was not included in the ordination because of its environmental and floristic affinity with group C sites (figs 2 & 3; table 1).

\*  $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$ , \*\*\*  $P < 0.001$

generated by analysis. The fieldwork, analysis and hypotheses described in the present paper represent the first step in this process.

We hypothesized that physical environmental variables were the principal factors associated with floristic variation in the region. To the extent that climate, substrate and topography were significantly correlated with each division in the classification analysis and the three principal ordination vectors, that hypothesis was upheld.

The classification of humid sites 27, 28 and 30 underscored the importance of subtle variation in soil texture and depth, and indicated that some of the a priori defined substrate and topographic types encompassed major floristic variation. To minimize floristic variation within environmental units in future work, substrate type (1) could be replaced by (1) silty-clay vertisol ( $> 50$  cm depth), and topographic

type (2) should be changed to (2) level site on a plain or flat (sensu McDonald et al. 1984). Site 25 lacked character species of either humid group, and therefore could have been classified in groups C or D. Site 21 was seemingly misclassified, considering its environmental characteristics and its association with group C sites in ordination (figs 3 & 4). In these cases, environmental unit affiliation may be a better guide to floristic composition than the Information Statistic classification procedure.

Table 2 summarizes the proposed relationships between the distribution of plant species and climate, substrate and topography. These hypotheses require testing in further fieldwork and experiments.

The Bray-Curtis ordinations revealed evidence of grazing effects on vegetation composition and structure, although the sample sizes were small and probability levels were sometimes marginal. Large herbivore (principally cattle) browsing was

associated with a reduction in woody understorey across the region. The highly preferred forage undershrub, Amyris texana (Reid et al. 1987), was less abundant in heavily grazed humid sites, and toxic, spiny and unpalatable species such as Karwinskia humboldtiana, Opuntia leptocaulis and Cordia boissieri (Reid et al. 1987) were more abundant in heavily grazed areas in the dry zone. Thus grazing may have caused a variety of undesirable vegetation changes in both climatic zones.

Wood cutting, on the other hand, was not linked to deleterious vegetation change. The number of cut stems was positively related to the abundance of the valuable timber and firewood trees, rather than the reverse. In several sites, however, we observed that stumps of the heavily exploited Condalia hookeri had not resprouted after the removal of all stems. Further study of the ability of C. hookeri to survive cutting in different environments and its abundance in relation to cutting intensity is desirable.

#### ACKNOWLEDGMENT

We are grateful to José Luis Delgado M. for drawing the figures.

#### LITERATURE CITED

- Austin, M.P. 1985. Continuum concept, ordination methods, and niche theory. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 16:39-61.
- Foran, B.D., G. Bastin and K.A. Shaw. 1986. Range assessment and monitoring in arid lands: the use of classification and ordination in range survey. *J. Envir. Manage.* 22:67-84.
- Foroughbakhch, R., R. Peñaloza and H. Stienen. 1987. The survival and growth of Gliricidium sepium (Jacq.) Steud and other introduced species in the matorral of northeastern Mexico. *NFTA Res. Rep., Int. Worksh. "Gliricidium sepium: management and improvement". CATIE, Costa Rica.* In press.
- Foroughbakhch, R. and R. Peñaloza. 1987. Introducción de 10 especies forestales en el matorral del noreste de México. *Facultad de Silvicultura y Manejo de Recursos Renovables, UANL, Rep. Científ.* 8, in press.
- Gauch, H.G. Jr. 1982. *Multivariate analysis in community ecology.* Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Heiseke, D. 1986. Regeneración por rebrotes en dos tipos de matorral del noreste de México. *Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt* 84:184-199.
- Heiseke, D. and R. Foroughbakhch. 1985. El matorral como recurso forestal. *Facultad de Silvicultura y Manejo de Recursos Renovables, UANL, Rep. Científ.* 1: 1-31.
- Johnston, M.C. 1963. Past and present grasslands of southern Texas and north-eastern Mexico. *Ecology* 44:456-466.
- McDonald, R.C., R.F. Isbell, J.G. Speight, J. Walker and M.S. Hopkins. 1985. *Australian soil and land survey field handbook.* Inkata Press, Melbourne.
- Norwine, J. 1978. Twentieth-century climates and climatic fluctuations in Texas and north-eastern Mexico. *J. Arid Envir.* 1:313-325.
- Reid, N., J. Marroquín and P. Beyer-Münzel. 1987. Intensidad del ramoneo en especies del matorral tamaulipense del noreste de México. *In Memorias del tercer congreso nacional de manejo de pastizales. Soc. Mex. de Manejo de Pastizales, Durango.* In press.
- Ross, D., M. Dale, K. Shields and C. Hulett. 1983. *TAXON user's manual.* Ed. P4. CSIRO Division of Computing Res., St Lucia, Queensland.
- Secretaría de Programación y Presupuesto. 1981a. *Carta de climas.* 1:1.000.000. Monterrey. México.
- Secretaría de Programación y Presupuesto. 1981b. *Carta de humedad en el suelo.* 1:1.000.000. Monterrey. México.
- Synnott, T. 1986. Los efectos de las heladas de 1983 sobre las plantas de la región de Linares, N.L. *Facultad de Silvicultura y Manejo de Recursos Renovables, UANL, Rep. Científ.* 5:1-13.
- Udvardy, M.D.F. 1975. *A classification of the biogeographical provinces of the world.* IUCN Occas. Paper 18. Morges, Switzerland.

245

# MODELO PARA PREDECIR PRODUCCION DE HOJA DE OREGANO (*LIPPIA BERLANDIERI*) EN POBLACIONES NATURALES EN JALISCO, MEXICO<sup>1</sup>

J. Rafael Cavazos Doria<sup>2</sup>

Resumen.--En éste estudio se evaluaron algunos factores ambientales que afectan la producción de orégano (*Lippia berlandieri*). Se encontró que el mejor modelo estadístico para predecir peso de hoja seca fué usando la cobertura promedio del follaje como variable independiente. Factores ambientales y características del suelo no estuvieron significativamente correlacionados con producción de orégano.

## INTRODUCCION

El orégano (*Lippia berlandieri* Schauer) es una especie importante encontrada en México la cuál crece silvestre, su uso como condimento y hierba curativa empezó en las antiguas culturas mexicanas y continua hasta el presente. En años recientes, la cosecha y procesamiento de hojas de orégano ha llegado a tener gran importancia económica. En México hay un gran número de personas que se benefician en éste recurso natural, ya que el 90% del total de la producción es destinada a la exportación.

Actualmente, la información sobre orégano es limitada. Un manejo adecuado de orégano requiere que los principales factores que influyen la producción de orégano en poblaciones naturales sean conocidos. Esta información es importante para optimizar la utilización del orégano, y al mismo tiempo establecer bases técnicas para los permisos anuales dados a los recolectores, ya que de ésta forma, una sobreutilización de orégano puede ser prevenida.

<sup>1</sup>Trabajo presentado en la Reunión sobre Estrategias de Clasificación y Manejo de Vegetación Silvestre para la Producción de Alimentos en Zonas Áridas. University of Arizona, Tucson Az, 12-16 de Octubre de 1987)

<sup>2</sup>Investigador titular del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, San Luis Potosí, México.

## REVISION DE LITERATURA

### Orégano

Orégano se refiere más propiamente a un sabor que a una planta en particular. Las plantas productoras de orégano incluyen miembros de los géneros *Origanum*, el cuál es cultivado y vendido como orégano, *Lippia*, *Coleus*, *Thymus*, *Monarda*, *Satureja*, *Hedeoma*, *Calamintha* y *Lantana* (Foster 1984). Todas éstas plantas contienen altos porcentajes de fenol carvacrol y menores cantidades de timol en sus aceites esenciales y por lo tanto tienen un sabor y aroma a "Orégano", (Foster 1984, Heat 1972).

Las hojas de orégano son usadas para saborizar carnes, pescados, omelete, pozole, pizzas, espagueti, (Morton 1976). El orégano es también usado en la industria alimenticia de salsas y en encurtidos y como condimento de salsas picantes y en los chiles en vinagre (Nabham y Felder 1985).

En América Latina el orégano es estimado como hierba medicinal, al cuál se le han atribuido propiedades tales como estimulante, diaforético, emenagógico y carminativo. También ha sido usado para tratamientos de la indigestión, dolor de cabeza, tensión nerviosa y picadura de insectos. Los aceites esenciales de orégano también poseen propiedades fungicidas así como expulsivas de parásitos intestinales (Foster 1984, Cabrera 1980).

En México hay varias especies de plantas que tienen el nombre común de orégano, éstas especies pertenecen a las familias Verbenaceas, Labiadas y Compuestas; incluyendo en éstas familias a los géneros *Lantana*, *Origanum*, *Gardo-*



quia, *Calamintha*, *Brickellia* y otros más (Martínez 1979, Días 1976).

*Lippia berlandieri* es la especie más importante desde el punto de vista económico (Tabla 1).

*Lippia berlandieri* es un arbusto aromático de 2-3 m. de altura con hojas oblongas a elípticas de 1 a 6.5 cm. de largo y 5-30 mm de ancho. Tiene 4-6 pedúnculos por nudo, las espigas son oblongas de 4-12 mm, y la corola es amarillenta ó blanca. El orégano generalmente florea - de Julio a Septiembre.

Tabla 1.--Especies conocidas como "Orégano" en México.

Familia	Especie
Verbenaceae	<i>Lippia berlandieri</i> Schauer.
"	<i>Lippia palmeri</i> Wats.
"	<i>Lippia graveolens</i> H.B.K.
"	<i>Lantana involucrata</i> L.
"	<i>Lantana velutina</i> Mart.et Cal.
Labiatae	<i>Monarda austromontana</i> Epl.
"	<i>Monarda citriodora</i> Cerv.
"	<i>Origanum vulgare</i> L.
"	<i>Poliomntha longiflora</i> Gray.
"	<i>Calamintha potosina</i> Schaff.
"	<i>Gardoquia micromeroides</i> Hemsl.
"	<i>Hedeoma floribunda</i> Standl.
"	<i>Hedeoma patens</i> Jones
"	<i>Hyptis albida</i> H.B.K.
Compositae	<i>Brickellia veronicaefolia</i> H.B.K.

(Correl y Jhonston 1970). Su distribución en México es en los estados de Chihuahua, Durango, Jalisco, Zacatecas, Puebla, Querétaro, Tamaulipas, Oaxaca y Sinaloa (Martínez 1979).

El principal país importador de orégano mexicano es los Estados Unidos el cuál consume más del 85% de la exportación anual (Anuario Estadístico E.U.M. 1976-1985). De 1970 a 1985 los Estados Unidos importaron 26,072 toneladas de orégano con un valor total en aduanas de \$ 41,496,000 dolares (Figura 1). Durante el periodo anterior México fué el mayor exportador a Estados Unidos con un volumen total de 10.968 toneladas, y con un valor de \$12,075,000 dolares (Departamento de Comercio de los Estados - Unidos).

#### Estimación de Biomasa

Los métodos conocidos como análisis de dimensiones pueden ser usados para establecer relaciones entre biomasa y parámetros de la planta tales como el área de la cobertura aerea y volumen del follaje. Los modelos desarrollados utilizando análisis de regresión pueden ser usa-

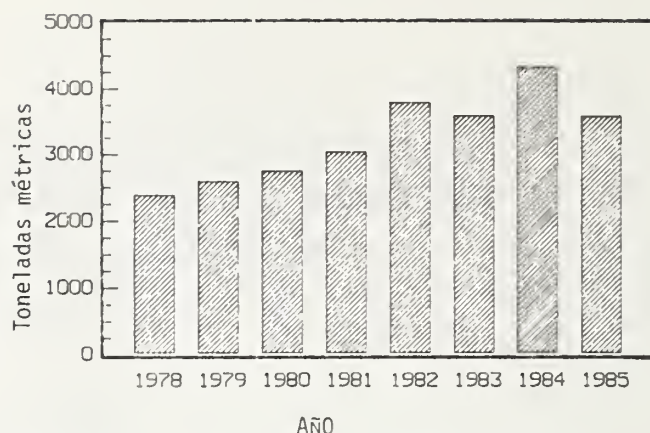


Figura 1.--Importaciones de Orégano en los Estados Unidos. Cantidad total en toneladas métricas de 1978 a 1985.

dos para estimar peso seco del follaje basado en dimensiones de la planta, las cuáles son más fáciles y más baratas de obtener (Ludwino et al 1975).

En estudios realizados en 8 especies de arbustos del desierto Chihuahuense para estimar relación en tamaño de la planta y biomasa, análisis de regresión fueron usados para obtener relaciones entre biomasa de la planta y área de cobertura y volumen. Los mejores modelos para predecir biomasa fueron aquellos en los cuáles se uso el volumen del follaje (Ludwin et al 1975).

En el caso de la gobernadora (*Larrea divaricata*) se ha encontrado que el mejor estimador para biomasa usando regresión lineal simple fué el volumen de follaje como variable independiente (Burk and Dick-Peddie 1973).

Harrington (1979) estimó biomasa de hojas y tallos en árboles y arbustos de una comunidad de *Eucalyptus populnea*, en éste estudio todos los arbustos mostraron alta correlación entre peso de hojas y tallos cuando se usaba altura y diámetro basal como variables independientes; él también concluyó que la altura da una mejor estimación de peso de brotes aereos en plantas con multiples tallos. En éste trabajo fueron hechas transformaciones logarítmicas de los datos para mejorar los coeficientes de correlación.

#### APEA DE ESTUDIO

El área de estudio está localizada en las cercanías de Colotlán, Jalisco a 230 Km. al Norte de la ciudad de Guadalajara. La elevación varía de 1700 a 2200 m. el área está caracterizada por lomeríos suaves. Las pendientes en los cerros varían del 5 al 40%.

El material parental está formado de extrusiones de rocas ígneas; los suelos están clasificados como luvisol háplico o litosol eútrico con lecho rocoso entre 25 y 50 cm. de profundidad (Cetnal 1973). Entre los sitios de orégano la profundidad de suelo era de 5 a 35 cm. con textura franco arenosa, el pH variaba de 5.8 a 6.5 y la materia orgánica de 3 a 4.5%.

El clima es semiseco con patrón de lluvias de verano, la precipitación media anual es de 660.5 mm con 83% de la lluvia cayendo de Junio a Septiembre en forma de fuertes tormentas, el mes más lluvioso es Julio con 166.1 mm (García 1981). La temperatura media anual es de 21.4°C con promedio mensual de Abril a Octubre sobre los 20°C (García 1981).

La vegetación del área de estudio pertenece al Matorral Subinerme. La especie dominante en los sitios donde los datos fueron colectados fué orégano (*Lippia berlandieri*). La flora asociada a orégano se puede dividir en 3 estratos. El herbáceo que incluye zacates tales como *Bouteloua filiformis*, *Rinchelytrum roseum*, *Botriochloa saccharoides*, *Muhlenbergia monticola*, *Aristida adscenciones* así como numerosas especies efímeras no identificadas. El estrato herbáceo en el cuál el orégano fué dominante también incluyó *Mimosa biuncifera*, *Stevia rhombifolia*, *Brickellia veronicaefolia*, *Dodonea viscosa*, *Opuntia* sp., *Agave* sp. y otras. *Ipomea intrapilosa*, *Acacia farnesiana*, *Acacia schaffneri*, *Bursera fagaroides* y *Ptelea trifoliata* fueron encontradas en el estrato arboreo.

## MÉTODOS

Un reconocimiento general de las áreas económicamente importantes para recolección de orégano fué llevado a cabo previo al muestreo. Los sitios fueron seleccionados en bases de homogeneidad de vegetación y otras características físicas que incluyeron pendiente, exposición y tipo de suelo.

El muestreo fué al azar dentro de cada sitio. La densidad de plantas de orégano fué el parámetro medido en cada parcela para calcular el tamaño de muestra en cada sitio. El tamaño de parcela fué de 30 m<sup>2</sup> (3 X 10m). Un total de 62 parcelas fueron muestreadas en 10 sitios. La altura de plantas de orégano fué medida desde la base del suelo hasta la parte más alta del follaje. Diámetro mayor de cobertura (follaje) y su diámetro menor el cuál era perpendicular al diámetro mayor fueron medidos. Diámetro promedio de cobertura (follaje) fué la media del diámetro mayor y del diámetro menor. El área de cobertura fué determinada usando la ecuación del círculo. Volumen del follaje fué estimado usando la ecuación para volumen de un elipsoide  $\frac{1}{6} \pi \times \text{alt} \times \text{Diam. mayor} \times \text{Diam. menor}$ .

Para estimar peso de hoja seca se seleccionaron

317 plantas de orégano, éstas plantas fueron escojidas de entre todos los sitios y fueron representativas de todo el rango de plantas encontradas en la muestra. Las dimensiones del follaje (cobertura y volumen) fueron medidas como se describieron anteriormente. Todas las hojas de orégano, incluyendo ramas fueron removidas manualmente de éstas plantas. La técnica de cosecha fué diseñada para simular la técnica usada por los campesinos cuando recolectan orégano. El peso seco de hojas para todas las plantas fué medido en el laboratorio después que las muestras fueron secadas en estufa por 24 horas a 85°C. Después que el follaje de cada planta fué secado, las hojas y ramas fueron separadas manualmente y pesadas.

Los parámetros ambientales medidos fueron: elevación en metros, pendiente y exposición.

Muestras de suelo fueron tomadas en el centro de cada parcela y fué determinada la profundidad y características físicas (textura) y químicas del suelo (ph, conductividad eléctrica, % de materia orgánica, nitrógeno total, P, K, Ca, Mn y Na).

Los datos fueron transferidos a una computadora para análisis. Análisis de regresión lineal fueron usados para desarrollar modelos para predecir la producción de hoja seca. El peso de hoja seca de orégano fué la variable dependiente; las variables independientes en los modelos incluyeron altura, diámetro mayor de follaje, diámetro menor, promedio de cobertura y volumen de follaje.

Las tablas de frecuencia para la altura y diámetro promedio de cobertura fueron también computadas para la población de orégano en cada sitio.

Análisis estadísticos consistentes en regresión lineal simple y coeficientes de correlación fueron usados para evaluar el grado de asociación entre cada factor físico y químico del suelo y producción de hoja de orégano en cada sitio.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Flora asociada

*Bouteloua filiformis* fué la especie dominante en el estrato herbáceo, estando siempre presente dentro de las parcelas de muestreo, su cobertura variaba de 2.5 a 62.0%

La especie dominante en el estrato arbustivo fué el orégano (*Lippia berlandieri*) con una cobertura de 17.5 a 62.0%. Otras especies de arbustos incluyeron *Gymnospermum glutinosa*, *Brickellia veronicaefolia*, *Mimosa biuncifera* y otras especies todas ellas con un total de cobertura menor a 2% cada una.

Especies en el estrato arboreo incluyeron



*Ipomea intrapilosa*, *Acacia farnesiana*, *A. Schaffneri* y *Ptelea trifoliata*, todas éstas especies tenían una cobertura menor al 3%.

#### Población de orégano en el Area de Estudio.

La densidad media de plantas en el área de estudio varió entre sitios. La densidad media varió de 18.7 a 75.6 plantas por parcela lo que da una densidad media de 6,236 a 25,500 plantas por hectárea. El peso promedio de hoja seca -- por parcela varió de 307.3 gr. a 1166.6 gr. (Tabla 2). Test múltiple (Diferencias mínimas significativas) y análisis de varianza para densidad y producción de hoja seca de orégano mostraron diferencias significativas entre sitios al 95% de nivel de confianza.

Correlación de densidad media de plantas y producción media de hoja seca por parcela fué  $R=0.803$ . Como es indicado por la significancia del coeficiente de correlación, la producción -- media por parcela generalmente se incrementa cuando la densidad por parcela se incrementa.

Tabla 2.--Densidad media de plantas de orégano y producción promedio de hoja seca de orégano en gramos por parcela en cada uno de los sitios parcela = 30 m<sup>2</sup>.

Sitio	Densidad	Producción
3	18.71	307.26
6	22.28	435.66
9	23.00	453.41
1	23.57	615.64
10	38.00	705.53
8	47.33	922.23
7	49.57	1166.64
2	61.50	954.33
5	65.20	1076.28
4	75.60	827.61

La mayoría de las plantas de orégano caen en 3 categorías de altura que fueron 31-45 cm. 46-60 cm y 61-75 cm; éstas categorías incluyeron el 54% de la población total de orégano. Las plantas de orégano usualmente crecen arriba de un metro en ausencia de cosecha; sin embargo fueron cosechadas anteriormente en forma manual removiendo la porción superior, a esto se debe el pequeño porcentaje de plantas alcanzando alturas de 135-200 cm. (2%). El 55% de todas las plantas de orégano tenían diámetro promedio de cobertura entre 21 y 50 cm.

#### Predicción de peso de hoja seca.

Los modelos para predecir peso de hoja seca por planta estuvieron basados en datos de 317 plantas. Los modelos iniciales tenían peso de -- hoja seca como variable dependiente y diámetro promedio de cobertura, altura, área de cobertura y volumen de follaje como variables independientes.

Para lo anterior fué utilizado un modelo lineal aditivo ( $Y = b_0 + b_1X + e_i$ ).

El modelo que tuvo mejor ajuste para peso de hoja seca fué cuando se usó área de cobertura como variable independiente. El coeficiente de determinación fué igual a 0.82 y el error estándar fué 12.15 gramos por planta. El modelo basado en altura resultó en una pequeña  $R^2$  (0.56) y gran error estándar (22.5) gr. por plantas, ésta diferencia en ajuste pudiera ser atribuida a la manera en la cual las plantas son cosechadas. La producción está basada en crecimiento anual y el área de cobertura puede ser la misma para plantas con un rango de altura de 45 a 105 cm. Esto ocurre debido a que la porción superior de las plantas es removida en la cosecha anual, causando un incremento en crecimiento lateral (Tabla 3)

Usando transformaciones de log base y para ambas variables, dependiente e independiente, se incrementó significativamente el coeficiente de determinación. Las variables independientes diámetro promedio de cobertura, área de cobertura y volumen de follaje, todas resultaron en ecuaciones teniendo similar  $R^2$  (0.95) y similar error estándar (0.35). Análisis de varianza para cada uno de éstos 3 parámetros fueron significantes al 95% de nivel de confianza. Por lo tanto cualquiera de éstos parámetros pudiera ser usado para predecir peso de hoja por planta, sin embargo, en el campo es más práctico el uso de diámetro promedio de cobertura porque se involucra un menor número de cálculos (Tabla 4, Figura 2).

Tabla 3.-- Modelos de regresión lineal simple usados para predecir peso de hoja seca de orégano (PHS), usando diámetro promedio cobertura (DPC), altura (ALT) área de cobertura (ARFA) o volumen de follaje (VOL) como variables independientes. (P 0.05).

Modelo	$R^2$	Error estándar
PHS = -19.778+1.0342(DPC)	0.84	13.5084
PHS = -9.214+0.6069 (ALT)	0.56	22.5084
PHS = 1.898+0.0115 (ARFA)	0.87	12.544
PHS = 9.927+1.283 F-4(VOL)	0.82	14.5688

Tabla 4.-- Modelos de regresión lineal simple usando transformaciones log base e para predecir peso de hoja seca de orégano (PHS) (P 0.05)

Modelo	$R^2$	Error estándar
Ln PHS = -4.802+2.023 (Ln DPC)	0.95	0.352
Ln PHS = -4.496+1.006 (Ln ARFA)	0.95	0.349
Ln PHS = -4.935+0.706 (Ln VOL)	0.95	0.340

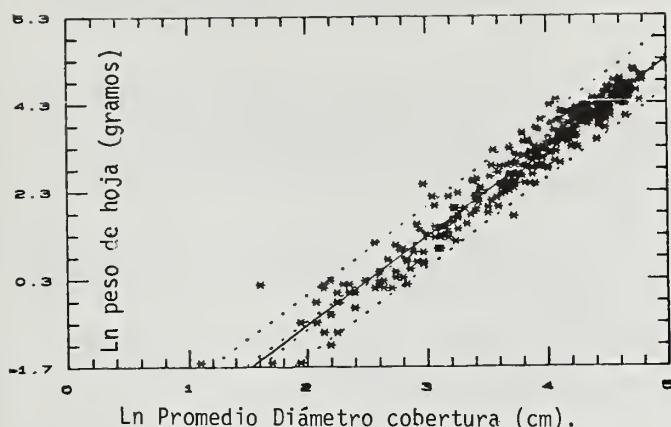


Figura 2. Regresión de log peso de hoja seca sobre log diámetro promedio de cobertura.

En adición a los modelos de regresión lineal simple se corrieron modelos de regresión múltiple, usando peso de hoja seca, como variable dependiente y diámetro promedio de cobertura, altura, diámetro mayor y menor como variables independientes. El uso de modelos de regresión múltiple no resultaron en una mejoría significativa comparándolos con aquellos obtenidos usando regresión lineal simple (Tabla 5).

Tabla 5.-- Modelos de regresión lineal múltiple para predecir peso de hoja seca de orégano (PHS).

Modelo	R <sup>2</sup>
PHS = -19.553+0.416 (DMAY)+0.58 (DMEN)	0.84
PHS = -20.699+0.414 (DMAY)+0.55(DMEN)+0.71 (ALT)	0.84
PHS = -20.969+0.959 (DPC)+0.070 (ALT)	0.84

La porción recolectada en cada planta de orégano incluyó hojas y ramas, por lo tanto la relación que existía entre ramas secas más hojas y peso de hojas secas fué estimada. El modelo lineal simple que mejor explicó esta relación fué:

peso hoja seca = 1.103+0.391 (Peso seco de hoja + ramas).

$$R^2 = 0.97$$

Error estandard = 0.004

El análisis de varianza para éste modelo fué significativamente al 95% de nivel de confianza. Este modelo puede ser usado para predecir peso de hoja seca basado en el peso total de tallos más hojas. El uso de éste modelo podría eliminar mucho de la necesidad para la separación manual de hojas de las ramas y tallos. El promedio de peso de hojas secas de cada planta osciló entre 35-45%

del peso total cosechado que incluyó tallos, ramas y hojas.

El uso de medidas de cobertura en orégano para predecir biomasa aérea mostró resultados similares a otros investigadores que trabajaron con algunas especies arbustivas del desierto Chihuahuense (Ludwino et al 1975). Adicionalmente éstos modelos fueron similares a aquellos obtenidos por Burk y Dick-Peddie (1973) para predicción de biomasa aérea en gobernadora (*Larrea divaricata*). Esta similaridad da una mayor confianza en la bondad de éstos modelos de orégano y su utilidad potencial para predecir biomasa aérea de orégano en sitios fuera del área de estudio.

El uso de transformaciones para mejorar los coeficientes de correlación mostraron resultados similares a Harrington (1979) que usó transformaciones para predecir biomasa aérea en arbustos y árboles en una comunidad de *Eucalyptus*.

Los modelos que mejor predicen peso seco de hoja de orégano y particularmente aquellos fáciles de aplicar tales como regresión lineal simple sobre área de cobertura ó diámetro promedio de cobertura usando transformaciones (log base e) pueden ser usados en manejo de orégano en áreas en las cuáles ésta especie es económicamente importante. Estos modelos podrían ser usados por personal responsable del otorgamiento de permisos para explotación de orégano, los cuáles podrían muestrear sitios y hacer mejores estimaciones de producción de hoja seca en el área; basados en éstas estimaciones el número de permisos anuales podrían ajustarse en relación al potencial del sitio.

#### RELACION DE SUELO Y FACTORES AMBIENTALES Y PRODUCCION DE OREGANO

Los análisis estadísticos mostraron que características tales como textura y profundidad del suelo tenían baja correlación con producción de orégano. Los nutrientes analizados fueron N, P, K, Ca, Mn, Na, los análisis de varianza para éstos nutrientes en relación a producción de orégano, mostraron diferencias no significativas al 0.05 de nivel de confianza.

Respecto a la exposición se vió que no estaba relacionada a producción de orégano. Las pendientes variaban del 5 al 25% en todos los sitios y no fué encontrada relación entre pendiente y producción de orégano. Todos los sitios tenían 50-60% del área cubierta por lecho rocoso. La altitud varió de 1700 a 2000 m y no estaba correlacionada con producción.

#### CONCLUSIONES

La cosecha y procesamiento de hojas de orégano tiene importancia económica en México, debido a que un gran número de individuos se benefician de este recurso, ya que casi la producción entera es exportada.



Los modelos de regresión fueron usados para predecir producción de hoja de orégano basados en dimensiones de la planta y éstos pueden ser utilizados para hacer estimaciones de producción potencial en sitios de orégano; tales predicciones harían posible un mejor control de la explotación y así evitar una sobreexplotación.

La cosecha de orégano en México se ha estado incrementando en los últimos 10 años y probablemente se incrementará más en el futuro, por lo tanto es necesario conocer como las poblaciones naturales de orégano responderán a una intensiva y continúa cosecha.

La investigación futura debería enfocarse como el vigor del orégano es afectado por una continuada cosecha y cuales son los efectos de la cosecha manual tradicional en la regeneración en poblaciones naturales.

El manejo e investigación del orégano debería enfatizar sobre la recolección apropiada que preserve y mejore éste valioso recurso natural.

#### LITERATURA REVISADA

- Burk J.H. and W.A. Dick-Peddie, 1973. Comparative production of *Larrea divaricata* Cav. on three geomorphic surfaces in Southern New Mexico. *Ecology* 54(5): 1094-1102.
- Cabrera L. 1980. Las plantas Medicinales de México. 4a. Edición. Ed. Botas. México, D.F.
- Cetenal. 1973. Carta Geologica F-13-B86. Comisión de Estudios de Territorio Nacional. Escala 1:50,000. Secretaría de la Presidencia. México.
- Cetenal. 1973. Carta Edafológica F-13 B-86. Comisión de Estudios del Territorio Nacional. Escala 1:50,000. Secretaría de la Presidencia.
- Correll D.S. and M.C. Johnston. 1970. Manual of the Vascular Plants of Texas. Published by Texas Research Foundation. Renner, Texas. 1881 p.
- Diaz J.L. 1976. Indice y sinonimia de las plantas medicinales de México. Monografías Científicas I. Instituto Mexicano para el estudio de las plantas medicinales, A.C. México, D.F.
- Foster S. 1984. Herbal Bounty. The Gentle Art of Herb Culture. Gibbs M. Smith Inc. Peregrine Smith Books. Salt Lake City. 192 p.
- García E. 1981. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koopen. Ed. Larios. México, D.F. 125 p.
- Harrington G. 1979. Estimation of above-ground biomass of trees and shrubs in a *Eucalyptus populnea* F. Muell. woodland by regression of mass on trunk diameter and plants height. *Aust. J. Botany* 27: 135-43.
- Heath H.R. 1972. Herbs and spices for food manufacture. Proceedings of the Conference on Spices. London 10 th.-14th. April 1972. Tropical Products Institute. p. 39-40.
- Ludwig J.A., J.F. Reynold and P.D. Whitson. 1975. Size-Biomass Relationships of Several Chihuahuan Desert Shrubs. *The American Midland Naturalist* 94(2): 451-461.
- Martínez M. 1979. Catalogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas. Fondo de Cultura Economica. México.
- Morton J.F. 1976. Herbs and Spices. Golden Press. New York. Western Publishing Company Inc. Racine Wisconsin.
- Nabhan G.P. and R.S. Felser. 1985. Wild Desert Relatives of Crops: Their direct uses as food. *Plants for Arid Lands*, Edited by G.F. Wickens, J.R. Goodin and D.V. Field. George Allen and Unwin. London. p. 19-33.
- U.S. Department of Commerce. Bureau of the Census. General Imports 1978/1985. Schedule A. Comodity by country.

245

# MANEJO DE PINOS PINONEROS PARA LOS PINONES<sup>1</sup>

Elbert L. Little, Jr.<sup>2</sup>

Resumen.--Se ofrecen algunas sugerencias sobre el manejo de pinos piñoneros para las semillas comestibles o piñones bajo uso múltiple. Especies mexicanas como Pinus maximartinezii merecen investigaciones en parcelas. Es deseable utilizar genética forestal. Se puede aumentar la cosecha de semillas. Se necesita más maquinaria para descascar las semillas.

## INTRODUCCIÓN

Basado en sus investigaciones hace medio siglo y observaciones después, el autor desea ofrecer algunas sugerencias sobre el manejo de pinos piñoneros para las semillas comestibles o piñones. Durante cuatro años desde 1937 hasta 1941 hizo estudios en Arizona y Nuevo México, mayormente con Pinus edulis Engelm., la especie más extensa en los Estados Unidos (Little 1965, 1977). En esa época el producto más valioso era la semilla comestible, como explicó una nota, Managing Woodlands for Piñon Nuts (Manejando Bosques para Piñones) (Little 1941). El trabajo fue interrumpido por la Segunda Guerra Mundial y no fue resumido hasta algunos años después. Sin embargo, mucho ha cambiado durante medio siglo.

Los pinos piñoneros de Pinus subsect. Cembroides han sido el sujeto de numerosas investigaciones. Las publicaciones incluyen las memorias de conferencias y simposios (Gifford y Busby 1975; Aldon y Loring 1977; Everett 1987), un libro (Lanner 1981) y bibliografías (Aldon and Springfield 1973; West, Cain, and Gifford 1973). Los resúmenes más recientes para las dos especies importantes en los EE. UU. son: Pinus edulis (Ronco 1987), P. monophylla Torr. & Frém. (Meeuwig & Budy 1987). Se debe mencionar el II Simposio Nacional sobre Pinos Piñoneros [México, D.F., México, 6-8 agosto 1987] (Memorias en prensa). Muchas otras investigaciones sobre el manejo de los bosques de pinos piñoneros con especies de junípero o sabino (Juniperus) están en progreso.

Una conclusión es: Los investigadores y los administradores o dueños deben trabajar juntos en el manejo de los bosques bajo uso múltiple. Otra conclusión es: El manejo está limitado por la producción baja debido a la escasez de agua y la interacción de costo/beneficio.

## ESPECIES IMPORTANTES DE PINOS PIÑONEROS

Las dos especies importantes de pinos piñoneros en los EE. UU. son Pinus edulis y P. monophylla, mencionadas antes. En México los piñones de comercio pertenecen mayormente a dos especies: P. cembroides Zucc. y P. nelsonii Shaw.

Otras especies mexicanas merecen investigaciones también para sus semillas comestibles de valor comercial posible. Deben probar todas especies en parcelas o plantaciones pequeñas experimentales.

Pinus maximartinezii Rzed. es local y escasa en el sur de Zacatecas (Rzedowski 1964). Es muy distinta desde las otras especies de Pinus subsect. Cembroides. Esta especie tiene conos muy grandes con muchas semillas muy grandes. Las semillas con cáscara dura miden de 2-2.5 cm. de largo y tienen 3 o 4 veces el peso de las otras especies. Debido a las semillas grandes, esta especie tiene prioridad alta.

Pinus remota (Little) D. K. Bailey & Hawks. se encuentra en Coahuila y Chihuahua en el noreste de México y local en el suroeste de Texas. Se ha llamado "paper-shell pinyon" (piñón con cáscara como papel) en referencia a su cáscara fina o delgada.

Pinus monophylla Torr. & Frém. (en el sentido ancho, incluyendo P. californiarum D. K. Bailey como variación) se distribuye desde la Gran Cuenca de los EE. UU. hasta el norte de Baja California (Bailey 1987). Tiene semillas grandes con cáscara delgada. La variación en México es de interés especial debido a las semillas aceitosas en vez de harinosas.

<sup>1</sup>Ponencia presentada en la Reunión Estrategias de Clasificación y Manejo de Vegetación Silvestre para la Producción de Alimentos en Zonas Áridas. [Tucson, Arizona, 12-16 octubre 1987].

<sup>2</sup>Asociado de Investigaciones, Departamento de Botánica, Smithsonian Institution, Washington, D.C. Dendrólogo Principal (jubilado), United States Department of Agriculture Forest Service, Washington, D.C.



## ESTRATEGÍAS DE CLASIFICACIÓN Y MANEJO

Las estrategias de clasificación y manejo de bosques de pinos piñoneros bajo uso múltiple son semejantes a esos en otros tipos de vegetación silvestre. Primero, se desea un inventario forestal y clasificación de sitios, incluyendo topografía, erosión, usos presentes, daños por sobrepastoreo, etc. Debe corregirse cualquier daños, por ejemplo, por erosión acelerada y por sobrepastoreo. Algunos terrenos marginales, como muy rocosos y pendientes o dañados por sobrepastoreo, quizás deben clasificarse sin uso por ganado. Terrazas y surcos por las curvas de nivel pudieran conservar ambos los suelos y el agua. Las especies difieren no solamente en su distribución pero en el manejo. Una conclusión es: Los investigadores y los administradores deben trabajar juntos en el manejo de los bosques bajo uso múltiple.

Los planes para manejo deben proveer alimentos y otros productos útiles y también empleo para la gente que vive cerca del bosque. Los usos pueden incluir semillas comestibles, leña, postes, madera para minas, tablas, árboles de Navidad, forraje, agua, control de erosión, vida silvestre, recreo, paisaje, etc. También, se puede clasificar cada área o parcela por su uso o valor mas importante. Por ejemplo, una área pública adyacente a un rancho quizás es importante para el forraje. Otra área montañosa y rocosa con faldas muy inclinadas y encima de una represa quizás debe estar cerrada a ganado. Cerca de un pueblo, leña sea importante. Etc.

Trabajo Manual.--Con utilización intensa y comercialización, el manejo de pinos piñoneros incluyendo las cosechas requiere mucho trabajo manual. Es limitado en los EE. UU. Afortunadamente, en México muchos braceros y campesinos están a mano.

Conversion.--Hace unos veinticinco años alrededor de un millón de hectáreas de bosques de pinos piñoneros y juníperos (*Juniperus* spp.) en los Bosques Nacionales y otros terrenos públicos en los EE. UU. fueron destruidos y convertidos a pastura (Arnold et al 1964). Se usaban las palabras "invasión" en las pasturas o praderas y "control." Mejor dicho, fue "eradicación" o "conversión." También, sembraron semillas de Gramíneas para mejorar el forraje. Después, los juníperos empezaban a regresar. Parece que la conversión sea transitoria y no permanente. Estudios del costo/beneficio serían deseables antes de hacer más conversión.

## REGENERACIÓN ARTIFICIAL

Bajo uso múltiple la producción de los bosques de pinos piñoneros y juníperos pudiera mejorarse. En el futuro estos bosques crecerán más productos y proveerán más trabajo para la población aumentanda. El manejo esta limitado por la producción baja debido a la escasez de agua y la interacción de costo/beneficio.

Regeneración artificial debe ser considerado en el futuro, por ejemplo, en los sitios mejores, areas desnudas por corte e incendios.

Parcelas Experimentales.--Es importante empezar pronto algunas parcelas experimentales debido al crecimiento despacio de los árboles, hasta medio siglo o mas hasta la madurez. (El autor lamenta que no estableció unas parcelas hace medio siglo!) Primero, las especies superiores deben probarse con semillas de árboles superiores. Parcelas pequeñas de cien plantulas para cada especie serían muy útiles.

## GENÉTICA FORESTAL

Es importante utilizar los metodos de genética forestal en investigaciones con regeneración artificial y plantaciones.

Selección.--Siempre cuando se recoge semillas de pinos piñoneros para sembrarse, debe buscar los árboles superiores (plus). Por ejemplo, la selección de árboles con muchos conos y muchas semillas grandes, crecimiento rápido y forma extendida. Es deseable marcar cada árbol con un rótulo. Se puede establecer huertas de los árboles superiores como un fuente de semillas. La propagación vegetativa por injertos y plantitas es una posibilidad.

Hibridización.--La mejoría de pinos piñoneros por hibridización es una posibilidad. Sin embargo, pudiera ser despacio y difícil. Pocos híbridos entre las especies en los EE. UU. han sido producido por Institute of Forest Genetics, U.S. Department of Agriculture Forest Service, Placer ville, California.

## COMERCIALIZACIÓN

Se dice que los piñones (*Pinus edulis* y *P. monophylla*) son los árboles silvestres (también no en cultivo) más importantes para las nueces comestibles en todos los EE. UU.

Hace medio siglo el producto más valioso de *Pinus edulis* era la semilla comestible, el piñón (pinyon nut o Indian nut en inglés). La cosecha anual variaba entre 500,000 y 1,000,000 kilogramos cada año (máxima más de 3,000,000 kg en 1936). Ahora la cosecha anual es solamente pocas miles de kilogramos, mayormente para consunción local y recreo. La cosecha anual de *P. monophylla* ha sido baja durante los años, pocas miles de kilogramos anualmente. Por seguro la cosecha puede aumentarse.

Producción de Semillas.--La producción anual de conos y semillas en *Pinus edulis* es muy irregular, como en algunas otras especies de árboles. En la mayoría de años la producción de conos en una localidad es baja y consumida por insectos y la vida silvestre, no suficiente para cosecha comercial por humanos ("bumper crop" en inglés).

No hay producción comercial todos los años en la misma localidad. Sin embargo, en cada año hay producción comercial en alguna parte de la distribución extensa de la especie. Se dice que el intervalo entre producciones comerciales en una localidad es "cada siete años" pero varía mucho. Puede ser de 3 a 5 o 7 años, raramente 2. Parece que la producción comercial es más frecuente en la parte norte de la distribución que hacia el sur. En algunas localidades hacia los límites de distribución, no hay producción comercial, por ejemplo, Arizona central, cerca del límite al suroeste.

Parece que la irregularidad en la producción de conos posiblemente sea asociada con variaciones en precipitación o la temperatura. Forcella (1978, 1981a, 1981b) concluyó que los primordios de conos tuvieron una correlación con temperaturas bajas durante el verano tarde o la última semana de agosto y la primera semana de septiembre y que se pudo estimar la producción de conos en adelante. Más estudios son deseables.

La Cosecha.--La primera etapa en la comercialización de piñones es el aumento en la cantidad de semillas recogidas. Naturalmente la cosecha debe ser suficiente para las ventas continuas por todo el año desde una cosecha hasta la próxima.

Métodos de Cosecha.--Parece que se puede aumentar la cosecha de piñones por métodos mejores. Con Pinus edulis se cogen las semillas desde el suelo una por una con los dedos por el otoño después de abrir los conos temprano en las dos primeras semanas de octubre. La cosecha puede continuar hasta el invierno o hasta la vida silvestre y los humanos han recogido todo. Este método es despacio y produce menos de un kilogramo por hora por persona. Otro método es de robar los nidos de ratones. También, se puede usar una escoba bajo los árboles y después un cedazo para separar la hojarasca. Posiblemente se pudiera inventar un tipo de limpiador aspirante para sacar las semillas desde el suelo.

Con Pinus monophylla se colectan los conos en el árbol antes de abrirse. Después los conos secan y se abren y descargan las semillas. Los cosecheros suben los árboles o usan palos o ganchos de podar. Este método se emplea también con otras especies en México. Como los conos se abren temprano en P. edulis, el tiempo para coger los conos cerrados sería muy corto, solamente pocas semanas. (Los conos rinden mucha resina pegajosa. Un método fácil de limpiar las manos es lavarlas con borax (polvo) y agua.)

El método más fácil de aumentar la cantidad de piñones en el mercado es sencillo, solamente cojer más semillas en cada otoño. Todos los años la producción es más grande que la cosecha y la venta. Durante algunos años el Servicio Forestal de los EE. UU. con la ayuda de los guardabosques distribuía pocos meses en adelante una lista de las áreas en los Bosques Nacionales donde los conos inmaduros eran abundantes.

Otro método de aumentar la cosecha es de ofrecer precios más altos a los cosecheros. Entonces el precio en el mercado al detalle subiría. Generalmente los cosecheros no pagan nada en los terrenos públicos de los EE. UU. Sin embargo, el Bureau of Land Management cobra poco por libra.

## EL MERCADO

Un programa de anuncios y promoción sería útil y provechoso en la expansión del mercado, particularmente para los turistas. Por ejemplo, los piñones como una nuez silvestre eran un alimento principal de los indios, que eran almacenado por todo el año. También, a causa del precio alto, el piñón es una nuez de lujo en parte con sabor distinto y debe ser ofrecido en tiendas especiales de nueces. Naturalmente esta nuez silvestre no puede competir en precio con las nueces comerciales cultivadas en cantidades, por ejemplo, el maní o cacahuete.

Semillas sin Cáscara.--Parece que se puede aumentar el mercado de semillas o almendras tostadas sin cáscara o testa. Las semillas de algunas especies de pinos piñoneros tienen la cáscara dura, demasiada gruesa para romper con los dientes, por ejemplo, Pinus cembroides. El peso de la cáscara varía entre las especies, aproximadamente una tercera del total en Pinus edulis y la mitad en P. cembroides. También, dentro de pocos meses después de la maduración, la nuez fresca pierde casi un tercio de su peso en secarse.

Las semillas crudas de Pinus edulis pueden ser almacenadas más de un año en el clima seco de Nuevo México. Se dice que las semillas de P. monophylla llegan a ser rancias en almacenaje.

Se venden los piñones tostados en paquetes transparentes, ambos con cáscara y sin cáscara. También se preparan dulces con piñones. Este mercado merece aumentarse con una promoción. Las semillas sin cáscara y tostadas pueden entrar el mercado internacional. Por ejemplo, en los Estados Unidos se importan semillas sin cáscara de pignolia (piñón o pine nut) de Pinus pinea L. desde la región Mediterránea de Europa, mayormente Italia y España, y semillas (pine nut) de P. armandii Franch. desde China.

Análisis Químicos.--Nuevas análisis químicas se desean para promover la venta de los piñones. Las especies difieren en la composición química y el sabor. Por ejemplo, Pinus edulis tiene la semilla aceitosa y P. monophylla la semilla harinosa. Otras especies y variedades nombradas y reconocidas en años recientes faltan las análisis químicas. P. cembroides Zucc. difiere de las otras en la almendra o endosperma o parte comestible de color rosado en vez de blanco.



Maquinaria.--Es esencial desarrollar más maquinaria para separar la cáscara o testa dura desde las semillas para las varias especies de pinos piñoneros. El método de remover o sacar la cáscara a mano es despacio y caro y no muy limpio. Hace más de medio siglo una compañía en Nuevo México inventó una máquina para su propio uso con semillas de Pinus edulis.

Quizás se puede conseguir la maquinaria desarrollada para otras especies de piñones. O la maquinaria para nueces, frijoles, manís o cacahuates, avellanas, etc., pudiera adaptarse. En un trabajo sobre las semillas comestibles de pinos en el mundo, Harrison (1951) mencionó el proceso de descascarse por máquina.

#### LITERATURA CITADA

- Aldon, Earl F., and Thomas J. Loring, tech. coord. 1977. Ecology, uses, and management of pinyon-juniper woodlands. U.S. Dep. Agric. Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Expt. Stn. Gen. Tech. Rpt. RM-39, 48 p.
- Aldon, Earl F., and H. W. Springfield. 1973. The southwestern pinyon-juniper ecosystem: a bibliography. U.S. Dep. Agric. Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Expt. Stn. Gen. Tech. Rpt. RM-4, 20 p.
- Arnold, Joseph F., Donald A. Jameson, and Elbert H. Reid. 1964. The pinyon-juniper type of Arizona: effects of grazing, fire, and tree control. U.S. Dep. Agric. Prod. Res. Rep. 84, 28 p.
- Bailey, D. K. 1987. A study of *Pinus* subsection *Cembroides* 1. The single-needle pinyons of the Californias and the Great Basin. Notes Royal Bot. Gard. Edinb. 44(2): 275-310.
- Everett, Richard L., ed. 1987. Proceedings pinyon-juniper conference [Reno, Nevada, Jan. 13-16, 1986]. U.S. Dep. Agric. Forest Service, Intermountain Forest and Range Expt. Stn., Ogden, Utah. 581 p.
- Forcella, Frank. 1980. Cone predation by pinyon cone beetle (*Conophthorus edulii*, Scolytidae): dependence on frequency and magnitude of cone production. Amer. Naturalist 116: 594-598.
- Forcella, Frank. 1981a. Estimating pinyon cone production in New Mexico and western Oklahoma. J. Wildlife Management 45: 553-557.
- Forcella, Frank. 1981b. Ovulate cone production in pinyon: negative exponential relationship with late summer temperature. Ecology 62: 488-491.
- Gifford, G. F., and F. E. Busby, eds. 1975. The pinyon-juniper ecosystem: a symposium. Proceedings. Utah State Univ., Logan.
- Harrison, S. G. 1951. Edible pine kernels. Kew Bull. 1951: 371-375.
- Lanner, Ronald M. 1981. The piñon pine: a natural and cultural history. Univ. Nev. Press, Reno. 208 p.
- Little, Elbert L., Jr. 1941. Managing woodlands for piñon nuts. Chronica Botanica 6: 348-349.
- Little, Elbert L., Jr. 1965. Pinyon (*Pinus edulis* Engelm.). In: Fowells, H. A., comp. Silvics of Forest trees of the United States. U.S. Dep. Agric. Forest Service, Agric. Handb. 271: 398-403.
- Little, Elbert L., Jr. 1977. Research in the pinyon-juniper woodland. p. 8-19. In: Aldon, Earl F., and Thomas J. Loring, tech. coord. Ecology, uses, and management of pinyon-juniper woodlands: Proceedings of the workshop. [Albuquerque, N. M., Mar. 24-25, 1977.] U.S. Dep. Agric. Forest Service, Rocky Mt. Forest and Range Expt. Stn. Gen. Tech. Rep. RM-39, 48 p.
- Meeuwig, R. O., y J. D. Budy. 1987. *Pinus monophylla* Torr. & Frem., singleleaf pinyon. In: Burns, Russell M., and Barbara H. Honkala, tech. coord. Silvics of North America. U.S. Dep. Agric. Forest Service, Agric. Handb. 654.
- Ronco, Frank. 1987. *Pinus edulis* Engelm., pinyon. In: Burns, Russell M., and Barbara H. Honkala, tech. coord. Silvics of North America. U.S. Dep. Agric. Forest Service, Agric. Handb. 654.
- Rzedowski, J. 1964. Una especie nueva de pino piñonero del Estado de Zacatecas (México). Ciencia (Méx.) 23: 17-20.
- West, Neil E., Donald R. Cain, and Gerald F. Gifford. 1972. Biology, ecology, and renewable resource management of the pinyon conifer woodlands of western North America: a bibliography. Utah Agric. Exp. Stn. Res. Rep. 12,, 36 p.

245

# INDICE DE DIVERSIDAD DE ESPECIES PARA DETERMINAR TAMANO DE MUESTRA EN VEGETACION DE BAJA CALIFORNIA SUR<sup>1</sup>

Ricardo Almelda Martínez<sup>2</sup>, Homero Fraga Mancillas<sup>3</sup>, y Jorge Agúndez<sup>4</sup>

En seis exclusiones en el sur de Baja California, se hicieron inventarios de vegetación empleando cuadrículas de 25 m<sup>2</sup> considerara como unidad de muestra, esto permitió realizar evaluaciones de indice de diversidad de especies con el fin de encontrar un nivel deseable de información. En todos los casos se muestra una tendencia progresiva, solo en dos localidades se lograron niveles satisfactorios de información.

## INTRODUCCION

El Estado de Baja California Sur, se localiza en el Noroeste de la República Mexicana, en la Península del mismo nombre ocupando la mitad sur de la franja continental. Colinda al norte con el Estado de Baja California, al sur y oeste con el Océano Pacífico y al Este con el Golfo de California. Su territorio está formado por 7'367,700 hectáreas, considerándose estadísticamente una superficie forestal de 5'653,000 hectáreas de las cuales 5'488,400 corresponden a comunidades bióticas de zonas áridas y semiáridas y 164,800 a bosques de clima templado. En esta superficie se estima una riqueza florística formada por mas de dos mil especies arbóreas, arbustivas y herbáceas.

La vegetación de Baja California Sur, es conocida en cuanto a sus componentes florísticos a nivel de Desierto Sonorense (Shreve y Wiggins 1964); sin embargo, a nivel estatal existe poca información con respecto a la cuantificación de esos elementos. Una primera aproximación es considerar el número de muestras suficientes para interpretar cambios en la vegetación e impacto del pastoreo.

Diversos autores consideran a los indices de diversidad como una posibilidad para análisis del muestreo en la vegetación. La composición botánica establece unidades de muestra que son los taxa, que en este caso son las especies y en un segundo

nivel de información se encuentra el area presentada por unidades de muestra. El objetivo de este trabajo fue conjugar la información que proviene de esas dos fuentes primarias de información en la exploración del recurso natural. Es por ello que se seleccionó al indice de diversidad de especies como una herramienta que combina los taxa y areas de muestreo, para determinar el area mínima de muestreo.

## METODOLOGIA

El trabajo se inició en el extremo sur, en los municipios de Los Cabos y La Paz, con cercanía a la sede de la Universidad Autónoma de B.C. Sur, incluyéndose desde la vegetación influenciada por el litoral hasta la de la parte media alta, 850 a 1200 msnm.

En la zona agroecológica de Los Cabos, mediante prospección de campo, se seleccionaron seis sitios diferentes entre sí, con respecto al perfil vegetal y las condiciones edafofisiográficas, construyéndose exclusiones cuya superficie osciló entre 800 a 1200 m<sup>2</sup>. Dentro de las exclusiones se trazaron cuadrículas de 25 m<sup>2</sup>. En la figura 1 se observa el tipo de vegetación característica del Chaparral de B.C. Sur y en la figura 2 el pastoreo de cabras.

En esos seis sitios se establecieron exclusiones que protegen a la vegetación principalmente del impacto del pastoreo que es comun en el area, los lugares fueron: (1) La Capilla, (2) Boca del Salado (3) Palo Escopeta, (4) Santa Anita, (5) Migriño y (6) Pescadero. Dentro de las exclusiones se trazaron cuadrículas de 5 x 5 m<sup>2</sup> poniendo estacas en esquinas para estudios permanentes, cada cuadrícula representa una unidad de muestra. Aunque las superficies variaron de 500 a 1000 m<sup>2</sup>, el número del cuadrículado fue en relación al area disponible. Se hizo un

<sup>1</sup> Trabajo de investigación realizado en la Universidad de Baja California Sur, México.

<sup>2</sup> Investigador del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, México.

<sup>3</sup> y <sup>4</sup> Investigadores de la Universidad Autónoma de Baja California Sur, México.





Figura 1.--Exclusión de vegetación en el municipio de Los Cabos de Baja California Sur.

inventario y registro de la composición botánica de todas las exclusiones. En una primera fase se determinó la presencia de especies en cada exclusión para determinar similitudes, se consideró solo la vegetación perenne, excluyendo a la vegetación efímera que es la mas abundante.



Figura 2.--Pastoreo de la vegetación estudiada en Baja California Sur.

A posteriori se utilizó la información botánica y los datos de censos de la cuadrícula para determinar la información obtenida por cada unidad de muestra. Al acumular la información, al aumentar la superficie de áreas contiguas, se representa diferente tamaño de muestra, así se obtuvo una serie de incremento de 25, 50, 75, ..., n, m<sup>2</sup>. En un enlistado de especies, paralelamente al incremento de superficies se acumulaba el número de individuos y número de especies aparecidas.

Se determinó el índice de diversidad de especies para cada unidad de muestra, partiendo de un tamaño de 25 m<sup>2</sup> y los incrementos consecutivos empleando los índices de Brillouin y Shannon, utilizando forma de cálculo propuestas por Lloyd, et al, (1968) según fórmulas:

$$\text{Brillouin } H' = \frac{1}{N} \log \left( \frac{N!}{n_1! n_2! \dots n_s!} \right)$$

donde: N = número total de individuos

n = número dentro de cada especie

$$\text{Shannon } H' = - \sum P_i \log P_i$$

donde: P<sub>i</sub> = la proporción de la población muestreada.

La representación gráfica se utilizó para encontrar tendencias del índice de diversidad de especies contra el número de muestras.

#### RESULTADOS Y DISCUSION

La presencia de las diferentes especies encontradas en las seis exclusiones se muestran en el cuadro 1; se registran 44 especies, seis no identificadas taxonómicamente, aunque estas sí fueron consideradas en la determinación del índice de diversidad. Se puede observar un mínimo representativo de 12 especies para Palo Escopeta y un máximo de 24 para Boca del Salado. Las especies comunes a todas las exclusiones son: *Jathropa cinerea*, *Lemaireus thurberi*, *Machrocereus gummosus* y *Opuntia cholla*, otras de importancia que aparecen como mínimo en cuatro exclusiones son: *Atiganon leptopus*, *Brusera microphylla*, *Cnydascolus angustidens*, *Colubrina glabra*, *Cytocarpa edulis*, *Ferrocactus* sp., *Fouqueiria diguetii* sp., y *Pachycereus pringlei*.

Estas observaciones preliminares solo incluyen la vegetación perenne, árboles y arbustos, las efímeras pueden representar un componente mayor.

Los resultados obtenidos por el índice de Shannon y Brillouin fueron similares para todos los casos, las magnitudes y tendencias presentan similitud. En la figura 3 se muestra la correspondencia de los dos índices al considerar la exclusión de Santa Anita, aunque impacta el hecho de ver una *Plateau* que se inicia después de la quinta muestra que representa una superficie de 125 m<sup>2</sup> y termina a la novena, o sea una superficie muestreada de 225 m<sup>2</sup>, para después mostrar un ascenso. En la comparación de diferentes índices y consideraciones de conceptos de diversidad hechos por McIntosh (1967) no se muestran los límites mínimos y máximos obtenidos por simulación, aunque si presentan un ajuste operacional para establecer esos límites en una escala de 0 a 1.

En Santa Anita solo se repitieron 12 cuadrículas acumuladas cubriendo 250 m<sup>2</sup>, según la gráfica se detecta aumento progresivo, se puede

interpretar que se requiere una mayor superficie a muestrear para conservar un nivel de manera estabilizada, o descenso.

CUADRO 1.-- Presencia de especies vegetales en las diferentes exclusiones en los Municipios de La Paz, Los Cabos, B.C.S. (México) 1985.

ESPECIES VEGETALES	1	2	3	4	5	6
<i>Adelia virgata</i>				.	.	.
<i>Antiganon leptopus</i>	.	.	.	.	.	.
<i>Bursera microphylla</i>	.	.	.	.	.	.
<i>Caesalpinia</i> sp.	.	.	.	.	.	.
<i>Cassia goldmani</i>	.	.	.	.	.	.
<i>Cercidium floridum</i>	.	.	.	.	.	.
<i>Cnydascolus angustidens</i>	.	.	.	.	.	.
<i>Colubrina glabra</i>	.	.	.	.	.	.
<i>Cyrtocarpa edulis</i>	.	.	.	.	.	.
<i>Erithrina flavellifarmis</i>	.	.	.	.	.	.
<i>Esembeckia flava</i>	.	.	.	.	.	.
<i>Ferrocatus</i> sp.	.	.	.	.	.	.
<i>Fouquieria diguetii</i>	.	.	.	.	.	.
<i>Gossypium davidsoni</i>	.	.	.	.	.	.
<i>Haematoxylon brasiletto</i>	.	.	.	.	.	.
<i>Helianthus</i> sp.	.	.	.	.	.	.
<i>Indigofera fruticos</i>	.	.	.	.	.	.
<i>Jatropha cinerea</i>	.	.	.	.	.	.
<i>Jatropha cuneata</i>	.	.	.	.	.	.
<i>Karwinskia humboldtriana</i>	.	.	.	.	.	.
<i>Lemnaeus thurberi</i>	.	.	.	.	.	.
<i>Lippia palmero</i>	.	.	.	.	.	.
<i>Lycium</i> sp.	.	.	.	.	.	.
<i>Lysiloma divaricata</i>	.	.	.	.	.	.
<i>Machaerocereus gummosus</i>	.	.	.	.	.	.
<i>Mamillarias</i> sp.	.	.	.	.	.	.
<i>Melochia tomentosa</i>	.	.	.	.	.	.
<i>Mimosa xanti</i>	.	.	.	.	.	.
<i>Opuntia cholla</i>	.	.	.	.	.	.
<i>Opuntia</i> sp.	.	.	.	.	.	.
<i>Pachycereus pringlei</i>	.	.	.	.	.	.
<i>Pedilanthus macrocarpus</i>	.	.	.	.	.	.
<i>Phithecellobium confine</i>	.	.	.	.	.	.
<i>Ruellia</i> sp.	.	.	.	.	.	.
<i>Simmondsia chinensis</i>	.	.	.	.	.	.
<i>Solanum</i> sp.	.	.	.	.	.	.
<i>Turnera diffusa</i>	.	.	.	.	.	.
<i>Yuca válida</i>	.	.	.	.	.	.
No identificadas (6)	.	.	.	.	.	.

1. BOCA SALADO
2. PESCADERO
3. CAPILLA
4. MIGRIÑO
5. SANTA ANITA
6. PALO ESCOPETA

En estudio de etapas sucesionales se ha encontrado que hay una tendencia de descenso en las últimas etapas de sucesión (Harger y Tustin, (1973)).

En la figura 4 se presentan los resultados de dos localidades, Migriño y Boca de Salado. El propósito es ver la tendencia a medida que aumenta la superficie muestreada y los niveles

del índice de Brillouin. El nivel máximo para Migriño es de 10 al considerar una superficie de 21 cuadrículas, o sea 525 m<sup>2</sup>.

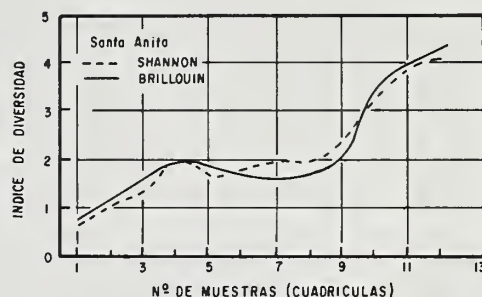


Figura 3.--Comparación de los índices de diversidad de especies de la exclusión de Santa Anita, B.C.S. (México).

En Boca del Salado la superficie de 35 cuadrículas sumó 850 m<sup>2</sup> y la tendencia de ascenso fue consistente.

Tanto Wittaker (1972) como Harger y Tustin (1973), consideran que los índices no apoyan a una comparación entre comunidades, en este caso solo nos indican que para el caso de Boca de Salado es conveniente aumentar el área de muestreo.

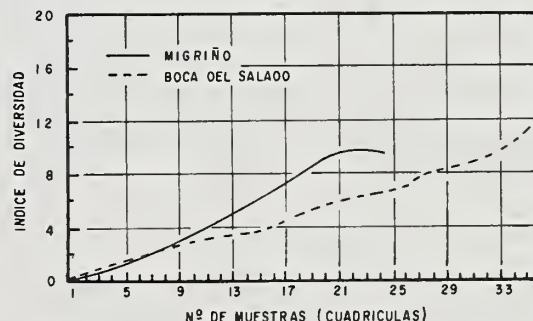


Figura 4.--Tendencia del índice de diversidad de especies en Migriño y Boca de Salado, B.C.S. (México)

Los resultados para Palo Escopeta, La Capilla y Pescadero se muestran en la figura 5. La composición florística de Palo Escopeta fue mas rica en comparación a todas las comunidades, es posible que su ajuste al índice de diversidad de especies sea diferente, las simulaciones de poblaciones realizadas por Meltshe y Forrester encontraron en 10 especies y 250 simulaciones que según el índice de Brillouin hay una distribución con pico bajo y otra con pico alto de acuerdo a las densidades determinadas por los individuos de esas 10 especies.

El pico para Palo Escopeta se encuentra en 10 cuadrículas (250 m<sup>2</sup>) y un índice de 4.3 mientras que los de La Capilla y Pescadero,



siguen con la tendencia de ascenso.

En estos dos casos se puede interpretar que se requiere una mayor superficie para lograr un nivel de equilibrio o pico con su descenso.

Los índices de diversidad de especies se han utilizado para el estudio de comunidades en diversas maneras, amplia literatura reporta Dennis (1979), pero es hasta fechas recientes que se procura su utilización para determinar tamaño de muestra (Heltshe y Forrester, 1985), pues se considera en principio que para obtener repetición de muestra se requiere de un tamaño fijo y con poblaciones homogéneas en tiempo y espacio, condiciones que no se presentan en manera natural. Sin embargo, en este estudio se emplea como una aproximación para definir área que proporcione suficiente información para cada localidad de manera independiente, y lograr un índice que satisfaga una información de su componente florístico para fines de su cambio sucesional o provocada por manejo del recurso en áreas contiguas a las exclusiones. Los datos y superficies que se han estudiado muestran la necesidad de un mayor contenido de información, por ende mayor superficie como tamaño de muestra para cuatro de los seis casos estudiados, por encontrarse tendencias de ascenso continuo.

#### CONCLUSION

Los índices de diversidad de especies nos indican que se requiere de una mayor superficie para obtener un tamaño de muestra satisfactorio, que posiblemente se deba a que la vegetación natural de Baja California Sur se presenta bastante dispersa y la variación de su composición botánica no se obtiene fácilmente al estudio de una superficie reducida.

#### LITERATURA CITADA

- Chambers, J.C. & R.W. Brown. 1983. Methods for Vegetation Sampling and Analysis on Revegetated Mined Lands. USDA. Forest Service General Technical Report INT-151: 22-34
- Dennis, B., G.P. Patil, O. Rossi, S. Stehman, & C. Taille. 1979. A bibliography of literature

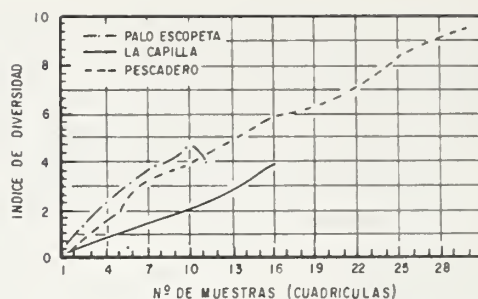


Figura 5.--Índice de diversidad de especies en relación a número de cuadrículas en tres comunidades de Baja California Sur (México).

- on ecological diversity and related methodology. pp. 319-353 In: J.F. Grassie, G.P. Patil, W. Smith, C. Taille (Eds) Ecological diversity in theory and practice International Cooperative Publishing House, Maryland (EE.UU.)
- Harger, J.R.E. & K. Tustin. 1973. Succession and Stability in Biological Communities. Part 1: Diversity. International Journal of Environmental Studies 5: 117-130.
- Heltshe, J.F. & N.E. Forrester. 1985. Statistical evaluation of the jackknife estimate of Diversity when using quadrat samples. Ecology 66(1): 107-111.
- Lloyd, M., J.H. Zar & J.R. Karr. 1968. On the Calculation of Information-theoretical Measure of Diversity. The American Midland Naturalist 79(2): 257-272.
- McIntosh, R.P. 1966. An Index of Diversity and the relation of certain Concepts to Diversity. Ecology 48(3): 392-404.
- Miranda, F. & E. Hernández X. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. Bol. Soc. Botánica de México 28: 29-179.
- Shreve, F. & I.L. Wiggins. 1964. Vegetation and Flora of the Sonoran Desert, Stanford University Press, California (EE.UU) Vols. I & II, 1740 pp.
- Whittaker, R.H. 1972. Evolution and measurement of species diversity. Taxon 21(2/3):213-251.

245

# Forest Inventory and Landsat MSS Vegetation Mapping for Arizona<sup>1</sup>

J. David Born and Clifford Pearlberg<sup>2</sup>

**Abstract.**--Forest inventory and a Landsat multispectral scanner vegetation mapping project were combined to produce forest resource statistics and vegetation maps for Arizona. Natural vegetation classes were mapped with ownership, elevation, and slope information. Statistical estimates were made of area, volume, growth, and mortality, by owner group for the State.

## INTRODUCTION

The Forest Survey Unit of the Intermountain Research Station, USDA Forest Service, conducts periodic assessments of forest resources in the Rocky Mountain States (fig. 1). These assessments are supported by forest inventories made at approximately 10-year intervals by National Forests, Forest Survey, and cooperating organizations. State, regional, and national publications report the resulting information concerning timber supplies with supporting statistics about forest area, condition, and volume, growth, and removals by owner classes. Recent reports include information about the availability and suitability of forest land for various nontimber uses (USDA FS 1981).

In Arizona the principal cooperators for the 1985 statewide forest survey was the Forestry Division of the Arizona State Land Department (ASLD), with additional support from the U.S. Department of the Interior, Bureaus of Land Management and Indian Affairs, and several Indian tribes. Some National Forests were also included in the survey, although National Forest data in the Rocky Mountains are usually collected independently by the Forests, and the data are aggregated for State level and other analyses.

Aerial photographs are typically used in forest surveys to estimate areas of major forest conditions and to locate field sample sites.

<sup>1</sup>Paper presented at the Symposium on Strategies for Classification and Management of Native Vegetation for Food Production in Arid Zones. [Tucson, Arizona, October 13, 1987].

<sup>2</sup>J. David Born is Forester, Intermountain Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture, Ogden, Utah. Clifford Pearlberg is Natural Resource Manager, Forestry Division, Arizona State Land Department, Phoenix, Arizona.



Figure 1.--The Rocky Mountain States.

However, satellite digital data are increasingly being used to assist in making vegetation surveys (Brass, Likens, and Thornhill 1983). The ASLD had developed the capability to process satellite data in the early 1980's and was interested in mapping and describing the vegetation within the State.

A statewide forest survey had not been done since 1962 (Spencer 1966), and volume data for pinyon-juniper, mesquite, and other woodland types had never been collected. Obviously, a new survey was needed. So following a test study in 1982, a cooperative project was initiated in 1983.



The satellite data for this project covered over 85,000 square miles, or 75 percent of the State. The forest inventory, excluding National Forests, covered over 70,000 square miles, or 62 percent of the State. Areas excluded from both procedures were the Navajo Indian Reservation and Yuma and La Paz Counties, those counties being considered nonforest.

The Forest Survey objective of updating forest resource information for the State was obvious, but the ASLD had additional needs for detailed mapping of vegetation within the State. Ownership, extent, composition, and location of forest and range resources are key attributes needed to carry out responsibilities of wildfire protection and suppression, land management assistance, and insect and disease detection and control. Similar information is also required for the management of nearly 10 million acres of State trust lands.

## SATELLITE AND OTHER DIGITAL DATA

### Data Sources

Landsat multispectral scanner (MSS) data which are composed of four bands (wavelengths) of digital data--red, green, and two infrared, were used as the primary data source. Five Landsat satellites have been launched since 1972. The last two, Landsat 4 and 5, transmit data for many areas around the globe every 16 days. Twenty-two scenes of data, each covering an area about 115 miles square, were selected for use in the project from the most recent cloud-free summer satellite passes. Digital terrain data, digitized from 1:250,000 scale Defense Mapping Agency (DMA) maps, were also purchased as a source for slope, aspect, and elevation data. Fortunately, a land net database, based on the Public Land Survey System of townships and sections, was available from the Arizona State Department of Transportation, which could be used with some updating and modification.

The final set of digital data needed was an ownership file. Ownership data were available only on maps from various sources that had to be digitized into the land net format--a time-consuming and tedious process. Bureau of Land Management, Forest Service, State, and other maps were used as sources of ownership information, which were reconciled during the digitizing process.

### Equipment and Software

#### Equipment<sup>3</sup> used:

- Prime 9950 Computer with 16 megabytes of internal memory
- Two 300-megabyte disks
- Two 675 megabyte disks
- Versatec electrostatic color plotter

---

<sup>3</sup>Use of trade or firm names is for reader information and does not imply endorsement by the U.S. Department of Agriculture of any product or service.

- Two digitizing workstations, including graphics terminals
- Lexidata color image display
- Trilog color printer/plotter
- Zeta 4-pen color plotter

#### Software used:

- ELAS satellite image processing system developed by NASA-NSTL
- DTAP digital terrain applications package developed in-house
- ARC/INFO map digitizing and modeling geographic information system from Environmental Systems Research Institute
- INFO tabular database management system from Henco Software, Inc.

### Procedure

The raw MSS data are composed of sensor elements (pixels) of spectral reflectance data, each representing about 1.1 acres. Each pixel has four reflectance values, with quantization levels ranging from 0 to 255, for each of the four wavelengths, or bands, of data. These reflectance values must be converted into data meaningful in terms of ground classification. Four general steps are required to convert the pixel data into labeled map data. The process is done for one scene at a time because of differences in spectral values caused by the atmosphere, sun angle, and phenology of the vegetation.

### Geographic Registration

The digital data are not registered to any map base when received, so a number of control points must be identified in the data and on maps. About 50 points were located for initial control, and the 30 with the lowest locational errors were used. The points are used in a least squares regression analysis, so a new location can be computed for each pixel relative to the respective map. During this process the data were resampled to 50 by 50 m in size, or about 0.6 acres, for data reduction.

### Pixel Classification

Pixels must be organized into homogeneous groups that relate to ground conditions. In this case, a procedure called unsupervised classification was used because it works well with natural vegetation. The data were grouped, based on division of the natural spectral range of the data, rather than using statistics files based on training sets from ground truth (supervised classification). An analyst can fine-tune the divisions of the spectral range until the groupings adequately represent the vegetative cover within the scene area.

The data were screened by the criteria, and each pixel was assigned to one of 40 to 50 predefined statistical classes, based on a combined value from the four band reflectance values. The quality of work done in this step and in labeling the classes is the key to the success or failure of MSS vegetation classification.

## Class Labeling

Class labeling is assigning names from field conditions to the statistically defined classes, and aggregating those classes that are not significantly different in terms of field conditions. This step requires considerable field work and is critical to the process. Analysts trained in both remote sensing and field conditions are essential for satisfactory class labeling. In this project, the selection of labels was based upon the land cover classes in "The Natural Vegetation of Arizona" (Lowe and Brown 1973). Although these land cover classes could not be reproduced exactly, the differences were insignificant for most uses. The classes used in the project are shown below.

### Landcover Types Used in the Forest Survey Project

Agriculture  
Agriculture/Desert Woodland  
Burn  
Chaparral  
Chaparral/PJ  
Chaparral/Riparian Deciduous  
Crops  
Crops/Grassland  
Desert Shrub  
Desert Shrub/Chaparral  
Desert Woodland  
Desert Shrub/PJ Trans.  
Grassland  
Grassland/Brush  
Grassland/PJ  
Grassland/PJ Trans.  
Locust  
Mesquite  
Mesquite Shrub  
Mesquite/Oak Brush  
Mesquite/Riparian Hardwood  
Mining Operations  
Mixed Conifers  
Mixed Conifers with Crown  
Cover Codes (1,2,3,4)  
No Data  
Oak Brush  
Oak/Woodland  
Oak/Chaparral  
Oak/Riparian Hardwood  
Oak/Locust  
Oak/Juniper  
Oak  
PJ (Pinyon/Juniper)  
PIPO (Ponderosa Pine)  
PJ/Chaparral  
PJ/PIPO  
PIPO/Oak  
PJ Pinyon, Juniper with  
Crown Cover Codes (1,2,3,4)  
PIPO Ponderosa Pine with  
Crown Cover Codes (1,2,3,4)  
PJ (Pinyon, Juniper w/no  
Crown Cover Codes)  
PIPO (Ponderosa Pine w/no  
Crown Cover Codes)  
PJ/PIPO Trans.  
Riparian Deciduous  
Riparian Hardwood

Shadow  
Soil/Rock  
Urban  
Wetlands  
Water

### Crown Cover Codes

Code	Crown Cover (%)
1	10
2	10-24
3	25-54
4	55-84
5	85-100

## Mosaic Scenes

For areas as large as Arizona, the scenes must be combined, or mosaicked, to delineate counties or other areas that cross scene boundaries. The land net, containing the survey system and ownership information, was also overlaid on the final data file. Mosaicking was accomplished by manually matching scene boundaries, as in an aerial photo mosaic, to eliminate overlap.

## Digital Terrain Data

The DMA terrain data are used to generate overlays for elevation, slope, and aspect. Conversion software are used to convert the new data into registered elevation slope and aspect overlays. The terrain data could also be used to stratify the data following pixel classification. Here, a decision rule is developed to assist in separation of vegetation conditions with similar spectral "signatures" but occurring at specific elevation levels or physiographic sites. However, this was not done in the project but could be used to improve classifications for future use in local areas.

## Products

A great variety of map and statistical summary products can be produced from the final digital database. In this project the digital data products were oriented toward the seven 1/2-minute quadrangle maps and counties. For State and other local applications, the color quad maps, with ownership and topographic overlays, were most useful. For Forest Survey, the county vegetation maps and tabular statistical summaries of area by vegetation class and owner class were required. The statistical area summaries were controlled to known areas by owner and county and were used in expanding the field data taken by Forest Survey crews.

## FOREST SURVEY

### Design

The statistical sampling design most commonly used by Forest Survey in the Rocky Mountain States is a two-phase sample with estimated stratum



weights. This requires a large primary sample of points, usually from aerial photographs, classified into land and vegetation classes to estimate the area of sampling strata. A smaller set of field samples from each stratum is then measured on the ground to obtain final classifications and estimates of timber volumes, condition, and so forth. A similar design uses acreage summaries of mapped vegetation classifications for strata areas, and MSS data were used in this manner.

The field samples must be identified by strata, and the Universal Transverse Mercator (UTM) Grid System (U.S. Department of Defense 1973) was used to select the samples and locate them in the registered MSS data. The field samples are always on some multiple of a 1,000-m grid. In Arizona the field sample intensity varies from a 1,000-m grid to an overlay of two 10,000-m grids. The intensity was varied to meet the needs of cooperators and to sample field conditions adequately.

The UTM grid system works well with satellite data because it is available anywhere in the world except the polar zones, and it is a square metric grid system. In the northern hemisphere a sample point location is described by first stating the 6-degree longitude grid zone number, followed by the number of meters east of the center of the zone (easting) and then by the number of meters north of the equator (northing). Numbers are always positive because each zone midpoint easting has been given an arbitrary value of 500,000 m east. Conversions to latitude and longitude can easily be made using a simple computer program (Chojnacky and Tymcio 1987).

#### Field Data

Field data, other than land class, were taken only on forested locations, with present or potential 10 percent minimum stocking of trees. Four kinds of data, as described below, were taken at each field sample location.

#### Site Classification

Site data include locational, landform soil, use, and vegetation characteristics. Included are observations about past wildlife, livestock, recreational, and timber use. A list of nonlocational data items is shown below. Further information about each of these items can be found in our Arizona field manual (USDA Forest Service 1985).

#### Site Classification Items

Ground Land Use  
Use Trend  
Ownership  
Stand Origin  
Stand Class  
Seed Source  
Forest Type  
Stand Size Class  
Percent Crown Cover  
Elevation

Aspect/Slope/Curv. Class  
Physiographic Class  
Primary Habitat Type  
Secondary Habitat Type  
Field Location History  
Local Forest Type Assoc.  
Vegetative Concealment  
Browsing  
Wildlife Use  
Grazing Intensity  
Livestock Access  
People Use  
Recreation Use  
Trails or Roads  
Availability  
Litter Depth  
Humus Depth  
Soil Texture  
Soil Group  
Percent Bare Ground  
Percent Compaction  
Soil Erosion  
Slope Length  
Micro Slope Length  
Water Proximity  
Water Type  
Land Use Impact  
Size of Condition  
Size of Forested Area  
Burn History  
Cutting History  
Type of Cutting  
Distance to Road

#### Tree Data

Tree measurements were taken for volume, growth, site potential, and present condition. Post and Christmas tree potential are recorded on woodland sites. A list of tree data items is shown below. Further information about each item can be found in the Arizona field manual.

#### Tree Data Items

Tree History  
Species  
DBH-DRC/EDRC  
Height  
Radial Growth  
Tree Age  
Crown Form  
Relative Crown Position  
CR Ratio Uncompacted  
CR Ratio Compacted  
Crown Class  
Surface Defect  
INT Defect-CF  
Total Volume Loss-CF  
Damage/Cause of Death  
Tree/Cover Class  
1st I&D Incidence  
2nd I&D Incidence  
Mistletoe Class  
Percent Tree Crown Cover  
Maximum Crown Width  
Minimum Crown Width  
Number of Stems  
Posts-Line

Posts-Corner  
Christmas Tree Grade

Lower Canopy Vegetation Data

Ground cover percent, when in excess of 5 percent for a species or group, was estimated for shrubs, forbs, and graminoids for each of three height classes. This procedure has been described in detail by O'Brien and Van Hooser (1983).

Visual Tree Segmentation

For woodland sample locations, trees were subsampled for detailed volume measurements for use in constructing volume tables. Further information about this procedure is given by Born and Chojnacky (1985).

Products

Products resulting from the forest inventory field data were individual sample location per acre summaries and a data file containing all original data and generated or computed variables. The per-acre summaries include cubic foot volume, and board foot volume for timber species.

Using woodland growth and segmentation data, regression models were developed to predict growth and volume respectively. From this project, for example, we have constructed the first statewide tree volume equations and tables for mesquite, pinyon, juniper, and oak, based on diameter at ground level and total height (Chojnacky in preparation).

COMBINED RESULTS

The strata areas, or areas by vegetation classes, were used with the field sample data to estimate area, volume, and other characteristics of forested lands. Custom software and the FINSYS (Born and Barnard 1983) data reduction system were used to compile the data into statistical tables. Any variable of interest from the field sample data may be summarized and expanded to the total area sampled. In this project the State was divided into 11 sample areas because of sampling intensity, cooperation, or resource characteristics. The number of statistical tables that could be produced is almost infinite, but we produced about 24 area tables and about 86 tables on volume, number of trees, growth, and mortality. Additional tables for statistical verification and special analyses were also prepared as needed. Tables by owner class and county were generated for a subset of these tables.

Reports

An unpublished report will be forwarded to each of the organizations cooperating in the forest survey or the Landsat analysis of a particular area of the State. A comprehensive report, "Forest Resources of Arizona," is in preparation and will be published in 1988. This report will include statistical tables, a

description of the forest resources of the State, and an analysis of the forest resources situation.

Separate publications will include the woodland volume and growth estimation models. These publications will be available from the Intermountain Research Station in Ogden, UT. One paper has been presented concerning mesquite growth and yield modeling (Chojnacky 1987).

Additional information concerning the availability of additional Landsat MSS map products may be obtained by contacting the coauthor at the Arizona State Land Department in Phoenix.

CONCLUSIONS

Although analyses of the data are not complete, we can offer several comments about the results. The Landsat MSS vegetation maps provide a spatial dimension to the project that should be useful locally. However, minor misclassification errors are easy to find, particularly in low-density woodland where the ground vegetation or soil reflects a strong signal. The use of topographic data in separating vegetation classes probably would have helped to discriminate between vegetation types with similar reflectance values.

The vegetation classes used differ somewhat from Forest Survey definitions and thus were probably less efficient statistically than classes designed to meet the definitions. Registration of the field samples into the Landsat data appears to be somewhat of a problem and may be caused partially by the averaging effect of the large pixel size and the resampling to 50 m. However, the estimates resulting from the two-phase sample appear to be unbiased by these problems, although poor registration certainly increases the sampling errors.

The database created by the Landsat and ownership data may be continually updated and is a useful tool for State agencies. The initial work is done, and only the future can tell of the many potential applications of the information.

LITERATURE CITED

- Born, J. David, and Joseph E. Barnard. 1983. FINSYS-2: Subsystem TABLE-2 and OUTPUT-2. USDA Forest Service General Technical Report NE-84, 133 p. Northeastern Forest Experiment Station, Broomwell, Penn.
- Born, J. David, and David C. Chojnacky. 1985. Woodland tree volume estimation: a visual segmentation technique. USDA Forest Service Research Paper INT-344, 16 p. Intermountain Research Station, Ogden, Utah.



- Brass, A.B., W.C. Likens, and R.R. Thornhill. 1983. Wildland inventory and resource modeling for Douglas and Carson City Counties, Nevada, using Landsat and digital terrain data. NASA Technical Paper 2137, 44 p. Moffett Field, Calif.
- Chojnacky, David C. 1987. Mesquite growth and yield modeling in Arizona. 3 p. Paper presented at: Los Amigos del Mesquite Annual Meeting. [Corpus Christi, Texas, September 10-13, 1987] [Unpublished paper on file at USDA Forest Service, Intermountain Research Station, Ogden, Utah]
- Chojnacky, David C. In preparation. Juniper, pinyon, oak, and mesquite volume equations for Arizona. USDA Forest Service, Intermountain Research Station, Ogden, Utah.
- Chojnacky, David C., and Ronald T. Tymcio. 1987. Conversion of UTM coordinates to geographic coordinates for SAS/GRAPH software PROC GMAP display. p. 489-494. In Proceedings of the 12th annual SAS Users Group International Conference. [Dallas, Texas, February 8-11, 1987]
- Lowe, C.H., and D.E. Brown. 1973. The natural vegetation of Arizona. Arizona Resource Information System Cooperative Publication No. 2, 53 p. Arizona Fish and Game Department, Phoenix, Ariz.
- O'Brien, Renee, and Dwane D. Van Hooser. 1983. Understory vegetation inventory: an efficient procedure. USDA Forest Service Research Paper INT-323, 6 p. Intermountain Research Station, Ogden, Utah.
- Spencer, John S., Jr. 1966. Arizona's forests. USDA Forest Service Resource Bulletin INT-6, 56 p. Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, Utah.
- U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 1981. An assessment of the forest and rangeland situation in the United States. USDA Forest Service Forest Resource Report No. 22, 352 p. Washington, D.C.
- U. S. Department of Agriculture, Forest Service. 1985. Arizona forest survey field procedures. USDA Forest Service, Intermountain Research Station, Forest Survey, Ogden, Utah.
- U.S. Department of Defense, Army. 1973. Universal transverse mercator grid. USDD Department of the Army Technical Manual TM-5-241-8. Washington, D.C.

# Plant Genetic Resources Threatened in North American Deserts: The FLORUTIL Conservation Project<sup>1</sup>

Gary P. Nabhan,<sup>2</sup> Wendy Hodgson,<sup>3</sup> and Luis Hernandez<sup>4</sup>

**Abstract.**--Scientists in the U.S. and Mexico are now collaborating on a data bank project named florutil, for the useful plants at risk in the U.S./Mexico border states. Analysis of the information in these dbase III files will help determine which threatened plants have been used directly for such purposes as food, fiber, medicinal, ornamental, etc. products; used indirectly as genetic resources for plant breeding; how these uses affect species distribution and abundance; how land management practices affect the same; whether usefulness serves as an incentive for conservation; and if and where these plants are now protected in situ or ex situ. Focus is presently on rare members of the cactus and agave families found in the four U.S. and six Mexican states.

## INTRODUCTION

FLORUTIL is a recently developed project regarding the threatened useful flora of the U.S./Mexico borderlands. It is a progress report on traditional uses and conservation of selected cacti and succulents in the states adjacent to the International Boundary. The contribution of our coauthor on this presentation, biologist Luis Hernandez Sandoval of the Universidad Autonoma de Tamaulipas, as well as the assistance of his colleague, Guadalupe Malda, and our new colleague at the Desert Botanical Garden, Allan Zimmerman, Ph.D. is acknowledged.

One of the raging debates regarding succulent conservation concerns the relative impacts of overcollection versus habitat degradation in threatened rare species. Fortunately, because of the recent careful assessments by Hernando Sanchez-Mejorada, Edward Anderson and Nigel Taylor, we know that 14 of the 23 rarest cacti studied in northeastern Mexico are threatened primarily by commercial collectors rather than by habitat destruction (Anderson, 1987). With regard

to FLORUTIL, their study raises additional questions: to what extent is traditional collection and use of succulents by indigenous desert cultures a threat to rarer species? If some of these plants have been gathered for hundreds if not thousands of years by desert cultures, to what extent is this plant gathering responsible for the rarity of these succulents? And how have ancient land management practices affected their habitats relative to the more recent introductions of livestock, trucks, and bulldozers? Finally, does a plant's recognized usefulness encourage its conservation or its overexploitation?

As far as these authors are concerned, the ultimate answers to these questions are still out. Opinions vary, ranging from Jared Diamond's contention that primitive peoples are just as destructive to biodiversity as industrial societies, to ethnographers' claims that cultures with long traditions in one place have developed taboos and other feedback mechanisms to keep from overexploiting rare resources. Yet, in most cases, opinions have been formed more by anecdotes than by systematically-collected information. And in all too many cases, not enough time has been spent with Native Americans to understand how direct harvest of certain plants is related to land use practices, traditional or otherwise. FLORUTIL, then, is an attempt to bridge these gaps, by seeing where the gaps are in our understanding, and trying to fill them by further fieldwork and discussion with known experts.

<sup>1</sup>Paper presented at the Symposium on Strategies for Classification and Management of Native Vegetation for Food Production in Arid Zones. [Tucson, Arizona, October 12-16, 1987].

<sup>2</sup>Gary P. Nabhan, Ph.D, is Assistant Director at the Desert Botanical Garden, Phoenix, AZ.

<sup>3</sup>Wendy Hodgson is Herbarium Curator at the Desert Botanical Garden, Phoenix, AZ.

<sup>4</sup>Luis Hernandez is ethnobotanist/botanist at the Universidad Autonoma de Tamaulipas and Comité Promotor, Tamaulipas.



## THE FLORUTIL PROGRAM

FLORUTIL is a set of programs written in dbase III programming language for use by the Desert Botanical Garden in cataloguing information about how people used and continue to use threatened plants found in the borderlands of the U.S. and Mexico. Using this system data about the plants and their uses can be entered and edited and a variety of reports based on this information can be prepared. FLORUTIL was a result of an interest in how ethnobotany and plant conservation biology overlap and interrelate. It also grew out of the recognition that many Mexican ethnobotanists/biologists, in particular Luis Hernandez and Guadalupe Malda, shared the authors' interest and have influenced the emergence of this project. This project is currently funded by a Lindley Foundation grant.

Before data is entered into the computer the information is written out on forms which correspond to the data fields in the program. A data field consists of a question followed by multiple-choice answers. By using these forms references are included. The forms also provide a file for additional data storage which may later prove to be quite important but cannot as yet be entered into the program.

FLORUTIL uses 2 related databases, one called Plants and the other called Uses. The database Plants contains 38 fields each containing information specific to one type of plant. The database Uses contains 19 fields each containing information specific to one part of a plant used by people. These fields with multiple choice answers were jointly conceived by the collaborators of this project and are presented in both Spanish and English.

Those plants considered threatened or endangered in the broad sense, i.e., "plants at risk in the borderland states" are initially included. Each plant is then screened for possible uses. Research at present is focusing on the agave and cactus families, which include a significant number of useful and threatened taxa. These families also represent the largest families in the living collections at the Garden and are of primary interest in Garden research. All taxa considered rare will be included eventually.

A problem that arises is when a rare plant is catalogued but there is no information on its use. Yet, information on plant usage exists for other related species or subspecies. The difficulty comes in deciding when to make an assumption that the rare plant was used in a similar fashion as the related species/subspecies. The position taken is generally one of few assumptions made although each plant is taken on a case by case basis realizing data can be added or deleted in the future. Possible mis-information as a result of assumptions made can be explained using as an example Manfreda singuliflora Gentry, a member of the Agave family known from Chihuahua and possibly Sonora. Members of the genus Manfreda are known

for their sudsing and cleansing properties produced in the fleshy underground stem (rhizome). Manfreda singuliflora differs from other manfredas in that it does not produce a fleshy rhizome. Thus, one cannot assume it was used for cleansing purposes, nor can it be assumed that it wasn't. In another case, the Seri people are able to differentiate between three different species of barrel cactus (Ferocactus), the flowers and pulp of F. wislizeni (Engelm.) B. & R. being far better tasting and healthier eating than those of F. acanthodes (Lemaire) B. & R. or F. covillei B. & R. (Felger and Moser, 1985). Yet, it is assumed that the roots, fruits, and seeds of Amoreuxia gonzalezii Sprague & Riley were used in similar fashion as the more common saiya, A. palmatifida Moc. & Sesse. However, this assumption is based on scanty evidence and strong gut feelings.

Although data has been entered only since 1 August 1987 the importance of this tool, more specifically, its capability to compile and then later sort on the basis of any number of data elements for report purposes, is realized. For example, according to information entered for the 93 records or taxa, 33% are used for food and of this percentage, 49% are used in a cooked form. Of the total number of taxa entered 54% are negatively impacted by overexploitation, 28% are negatively impacted by livestock herbivory, and 23% are negatively impacted by urbanization. Forty-two percent of the total number of taxa recorded occur in Arizona.

## CASE STUDY I

Peniocereus greggii (Engelm.) Britton & Rose  
var. transmontanus (Engelm.) Backeberg

Peniocereus greggii var. transmontanus, or Arizona queen-of-the-night, offers contradictions in terms with regard to classifying botanical features and its relationship to humankind. This member of the Hylocereae can be considered a geophyte, or a scandant dwarf cactus which may reach 3.5 meters in height. Its lead gray wirey stems often mimic those of Larrea tridentata (DC) Coville, one of its nurse plants, so that it is visually inconspicuous. Yet, on a early summer evening its blossoms are fragrant enough to be noticed from dozens of meters away. It is considered a reasonable candidate (Category 2) (U.S. Fish & Wildlife Service, 1987) for threatened species status in the United States, yet it is widespread throughout its range. It has long been utilized, in a somewhat consumptive fashion, but land conversion may be at least as serious a threat as traditional uses. Finally, its traditional uses bridge the distinction between food and medicine.

This slender night-bloomer has stems frequently no thicker than a finger. Below these dead-looking stems are succulent tuberous roots weighing as much as twenty kilograms or forty-five pounds. Historic notes record the use of flowers, fruit, and the "shoots" as greens (the use of

shoots greens is questionable). But it is the enlarged tuberous roots which serves as the species blessing and curse. Over the last half century, O'odham Indians of the Sonoran Desert have consistently mentioned two major uses of these roots: first, as a food, eaten raw, or baked in ashes, peeled then eaten; second, as medicine, chunked and drunken, or eaten as an aid for digestion, respiratory ailments, headaches, and most importantly, diabetes. Eating the roots of this cactus to control diabetes is of particular interest, for these Pima and Papago people currently have the highest incidence of diabetes mellitus of any ethnic population in the world. This was not true historically, when traditional foods and medicines were ingested in greater proportions than modern store-bought commodities. Nabhan recently collaborated on a nutritional analysis of selected desert foods with Australian chemists. This study confirms that certain traditional O'odham foods formerly protected diabetics from harmful blood sugar variations by slowing the digestion and absorption of meals. It may be that the O'odham classification and use of night-blooming cereus tuberous roots as both food and diabetic medicine has some empirical validity. These tuberous roots should be given high priority in future analyses for glycaemic responses of foods suitable for diabetic diets.

Ironically, the O'odham knowledge of this plant's potential value was shared with Mexican-American herbalists who purchased so many of these roots that the plants grew scarce in Pima country. Nabhan recently interviewed an elderly Pima man who suggested that this plant was commercially overexploited as a medicine up to 1930 and that it is absent from part of its historic range. Nevertheless, many more references and the authors' observations indicate that land conversion and vegetation destruction for farm development and suburbs have had a severe and lasting impact on queen-of-the-night within the Pima Reservation and in other areas as well.

The O'odham have brought this plant into garden cultivation, in part for the ornamental quality of its fragrant flowers. It is common in botanical gardens, but usually not managed to maintain the gene frequencies of distinct populations. Therefore, at the Desert Botanical Garden both hand pollinations and pollen storage for later use are being attempted in order to maintain distinct but heterogeneous populations of this plant. The Centro Ecologico de Sonora is also involved in a propagation program for night-bloomers. It is worth noting that the species exists in biosphere reserves, national parks, national forests, and wildlife refuges, so that its survival seems somewhat assured.

## CASE STUDY II

Ferocactus pilosus (Salm-Dyck) Werderm. and  
Echinocactus platyacanthus Link & Otto

Based on reports from collaborator Luis Hernandez (pers. comm.) the status of two barrel cacti and their uses are highlighted. Ferocactus pilosus is known as viznaga colorado of the Chihuahuan Desert. Its stems can be solitary, but are often found in massive clumps. It has nine or more uncurved and unhooked spines per areole, erect open flowers, and yellow, dehiscent fruit. Vznaga colorada is found in the heart of the Chihuahuan Desert, including Tamaulipas, Nuevo Leon, extending nearly to Big Bend, Texas, farther north than Nigel Taylor's map shows (Taylor, 1986). Its lemony-tasting acrid fruits are highly favored in Tamaulipas, where they are commonly used as the flavoring for an agua fresca similar to lemonade. In addition, the flower buds are pickled or cooked in various ways as part of the regional cuisine of the Chihuahuan Desert.

And yet neither of these traditional uses deplete the species' populations as much as does the overcollection of the plant as an ornamental for export (L. Hernandez, pers. comm.). The commercial trade has restricted its range to more out-of-the-way sites, as highway-sides have been ravaged for years. Transport to U.S., Germany, and Mexico City cactus collectors appears to be the major threat, not food uses.

In the Miquihuana vicinity of Tamaulipas, it is now occasionally used in dulces as a replacement for another barrel with which its range overlaps (L. Hernandez, pers. comm.). Echinocactus platyacanthus is more rarely used as an ornamental, but intensively exploited as a food. The stems of this robust barrel are cut, boiled down and prepared as dulces or barrel cactus candy; once the single stem is cut, there is no recovery. Despite ancient use in this manner, northern Mexican population growth has outstripped the slow growth rates of this cactus. Both market use and self-consumption are locally endangering it (L. Hernandez, pers. comm.). Nonetheless, goats do considerable direct damage to the plant where it grows on plains, so that it is becoming more and more restricted to hillsides where agriculture is more scarce. Goats are also likely to trample seedlings and destroy their nurse plants, so that goats may be affecting more than one life stage of this species.

## CASE STUDY III

Agave murpheyi Gibson

In 1935 Frederick Gibson, former director of the Boyce Thompson Arboretum in Superior, Arizona described an unusual agave first observed by amateur naturalist William Murphey. Murphey's agave is quite different from other agaves. Of greatest interest are the types of reproduction A. murpheyi is capable of. Unlike other agaves in



Arizona its scape begins to elongate in early winter and continues to grow with warmer weather. Flowers appear in late March and April, some of which may be deformed. At this time bulbils begin to develop. Few capsules and seed are produced. However, bulbils are not the principal means of reproduction, rather the production of pups through rhizome development. (The production of bulbils occurs in other agaves, the most well known being *A. vilmoriniana*. The authors have recently discovered that following five years of governmental indiscriminate spraying of agent-orange south of Globe *A. chrysantha* produces bulbils in the inflorescence. This suggests that bulbil formation may be hormonally controlled, at least in part.)

*Agave murpheyi* appears to be quite rare in the wild. Until the last few years less than half a dozen clones were known. Now, 25 to 30 clones are known, occurring in central Arizona from the Bradshaw and New River Mountains, east to the Sierra Ancha Mountains (R. DeLamater, pers. comm.). All known clones are found in association with archaeological artifacts. There are no documented historic examples of agave cultivation in the U.S. although prehistoric cultivation has been suggested (see Minnis and Plog, 1976; Fish et al., 1985). A terminal spine and marginal teeth recovered from several sites in the Tucson Basin (Fish, et al., 1985) and tissue fragments from La Ciudad excavations (Bohrer, 1986) suggest *A. murpheyi* was cultivated by the prehistoric inhabitants. Successful establishment of bulbils produced in the inflorescence increases significantly when placed into a disturbed, or cultivated situation (S. Szarek, pers. comm.) Dr. Howard S. Gentry had remarked how the Papago in Sells, Arizona may have cultivated this agave (Gentry, 1982). Indeed, *A. murpheyi* is a common sight in the government housing area and in most villages on the Reservation it is grown as an ornamental. Laura Kerman, a Papago woman, reminisces how in the days of her grandfather her people harvested large stands of *A. murpheyi* in a canyon nestled on the west side of the Baboquivari Mountains. Here they lived during the winter months harvesting and pit-baking the cabezas. She was quick to add that her people used the cabezas for food only and, unlike the Mexicans, not exclusively for mescal. It is believed that the population still exists. In Sonora clones have been found at San Luisito and Quitova, an ancient Papago village. At Quitovac Papagos call the plant *nonhakam*, meaning "it has eggs (progeny)".

*Agave murpheyi* has favorable characteristics for use as a food source lending itself to cultivation (Bohrer, 1986). If flowers relatively earlier than other agaves, takes less time to mature as compared with other large Arizona agaves, produces large heads for harvesting, and produces bulbils which are easily transported and transplanted. Because it reproduces primarily by vegetative means more uniform plants are produced.

The question of *A. murpheyi*'s origin and dispersal is a perplexing one for archaeologist,

ethnologist, and botanists. Questions which arise include "were the more northern populations/clones introduced to that area from the south and then tended or cultivated? or "did these more northern populations have their origin through hybridization and introgression via extinct or extant parental species different from the more southern clones and populations followed by tending and cultivation? Plants from northern and southern clones appear morphologically similar and suggests common ancestry and dispersal through trade and travel. This is merely speculative as the question of *A. murpheyi*'s origin requires a great deal of further study.

#### CASE STUDY IV

##### *Agave potrerana* Trelease

*Agave potrerana* is a very attractive and distinctive agave placed in the group Marginatae (Gentry, 1982). It is non-suckering (does not produce offsets) and produces long tapering glaucous to light green leaves with a conspicuous gray margin. The flowers are densely produced in the upper two-thirds of the spike. They are quite attractive and conspicuous, up to 58 millimeters long and range in color from red to yellow.

The leaves have an abundance of strong fiber, considered longer and more pliable than its commercial relative, *A. lechuguilla* Torr. of the same general area (Gentry, 1982). According to a local informant in the Sierra Campana region in central Chihuahua *A. potrerana* was called "lechuguilla", that the fiber was used locally, and it was common all over the area. In 1959 Dr. Gentry observed a large scattered population on the Sierra Campana. But, upon revisiting the area in 1964 he found the plants much scarcer, the range there being heavily stocked with cattle. As noted by Gentry (1982) heavy cropping of the inflorescence by cattle can soon decimate a non-suckering agave population. Cattle impact of this type has also been observed with *A. chrysantha* Peebles, the rare *A. arizonica* Gentry & Weber, and the suckering *A. toumeyana* Trel. var. *bella* (Breit.) Gentry and *A. shawii* Engelm. ssp. *goldmaniana* (Trel.) Gentry. It is probable that other agave species are impacted as well.

*Agave potrerana* is recognized as a potentially important genetic resource for its strong, long, and pliable fiber, possible high sapogenin content, and freezing tolerance (Gentry, 1982). Yet, it is known from only a handful of collections.

#### CASE STUDY V

##### *Mammillaria thornberi* Orcutt

Clumps of Thornber's fishhook cactus occur over a 6000 square kilometer range in south-central Arizona and adjacent Sonora. The chilotype fruit have an astringent taste compared to those of sympatric *Echinocereus* species, and one



Papago man joked to Gary how Coyote had made it sour. The O'odham names for this species and *Mammillaria microcarpa* Engelm. refer in some way to their relation with Coyote, such as Coyote's paws or Coyote's hedgehog. Its fruits are casually eaten and the plant is sometimes dug up when found near saguaro-harvesting camps and brought back for cultivation in Papago dooryard gardens. One is planted as part of a holy shrine in a Papago yard.

The species was proposed as threatened and intensively studied when it was learned that the Central Arizona Project's irrigation canal would go through its densest populations. However, in the search and salvage, Frank Reichenbacher and others located not hundreds but tens of thousands of individuals of this plant in or near the canal routes, including sizeable populations within Saguaro National Monument. Nonetheless, the plant cannot be considered "safe" in the Saguaro National Monument vicinity. With remote sensing expert Dr. Michael Parton, Nabhan recently determined that as much as 25 % of this plants habitat in the 275 square kilometer area around Saguaro National Monument has been destroyed over the last fifty years, as suburbs have extended up to the park boundary. Dr. Pete Bennett of the National Park Service cautions that National Monuments themselves are not safe sites, but instead are subject to an intensity of casual cactus collection unparalleled on other state or federal lands. Park Service land managers have inadvertently contributed to the decline of this species by locating parking lots and restrooms in the midsts of populations opening them to trampling and collecting. Both *M. thornberi* and *M. microcarpa* are being damaged at the Monument rest area except where they persist under cholla (*Opuntia* spp.) nurse plants. On private and state lands, creosotebush removal threatens several populations, for this species has a greater-than-statistically predicted association with creosote as a nurse plant, and shares microrhizae with this shrub. The safest sites for species survival may be on the Tohono O'odham Indian Reservation where massive land development schemes are possible but less likely to occur.

#### CASE STUDY VI

##### *Pholisma sonorae* (Torr.) Yatskievych

*Pholisma sonorae* is commonly known as sandfood, as its original name, *Ammobroma sonorae* Torr. suggests. Its native name in O'odham, *hia tadk*, means dune root, and the underground inflorescence stalk of this parasitic plant are superficially root-like. However, its haustoria penetrate the roots of other species, primarily *Tiquilia* spp. and obtain their moisture therein. Sandfood was first obtained for science while an explorer watched native peoples gathering it to eat. Its use, however, may have been referred to as early as 1694, when Juan Mateo Manje encountered along the Sea of Cortez "poor people

who lived by eating roots of wild sweet potatoes, honey, mesquite beans, and other fruits" (Karns, 1954). These people, the Hia Ced O'odham, or In-the-Dunes People, have had a particularly rich relationship with sandfood. Some other Papagos nicknamed them the Dune Root Crushers and either an acid in the plant or associated sand grit gave most of them worn down teeth. Although Yatskievych (1985) doubts it, Lumholtz (1912) maintained that these Dune Root Crushers could find the plant out of season, before it broke ground surface. Although it appears to have been a major food source for these small semi-nomadic bands, none of the historic observers claimed that they overexploited it, perhaps because their population densities were so low. To the contrary, the Indians themselves claim that once they stopped using it regularly, plant populations declined. Perhaps their digging of plants when some had seed on them allowed for less random dispersal back closer to the host plant roots. Perhaps their gathering encouraged seed dispersal to safe sites or vegetative branching. Empirical studies to confirm or deny these hypotheses are lacking. In fact, knowledge of how to germinate this plant is lacking. Despite attempts in the 1930's to propagate and can it for Desert Indians, no one has succeeded in successful propagation. A dissertation was once attempted on germinating this species, and only one seed out of hundreds sprouted but quickly died (Cothrun, 1969).

Currently, sandfood is under considerable pressure in a significant portion of its 6000 square kilometer range, due to off-road vehicles and agricultural clearing on both U.S. and Mexico sides. It will, however, persist several years following land clearing and cropping in agricultural fields. It is not, however, a "plant with weedy characteristics" as one U.S. Fish and Wildlife Service from California suggested to Nabhan. One small protected area on BLM land in California does not make this species "safe". Much more study is needed of its population biology. There is an attempt to fill this void with a recent seed collection in cold-storage at the Desert Botanical Garden. In addition, the Cocopah, Quechan, and other tribes of the Colorado Delta need to be asked further about this plant.

#### CASE STUDY VII

##### *Amoreuxia gonzalezii* Sprague & Riley

*Amoreuxia* is a small genus within the *Cochlosperm* family and is comprised of four species. All are herbaceous perennials arising from a more or less woody tuber-like root. It is an attractive genus, with deep green leaves and large yellow-salmon flowers. Its distribution ranges from northern Mexico and adjacent U.S. states through Central America to Peru. The common species, *A. palmatifida* Moc. & Sesse., commonly called *saiya* or *temaqui*, takes in the majority of the distribution of the genus. *Amoreuxia gonzalezii* appears quite rare.



Little is known of A. gonzalezii although its more common relative, A. palmatifida, has figured prominently in the diets of many native people in Arizona, Baja California, Sonora, and possibly throughout much of Mexico and Central America. At Onavas, Sonora, ethnographer Campbell Pennington (1980) remarked how the people there utilized both saiyas but whether they differentiated between the two species is unclear. The roots were the most important plant part used, eaten raw, boiled, or more commonly roasted. The immature and mature seeds, immature fruits, and even the flowers were, and continue to be used for food. At the Universidad de Sonora research has begun to economically develop A. palmatifida for its nutritional products obtained from the root.

Amoreuxia palmatifida and A. gonzalezii are very similar in appearance. However, the fruits of A. palmatifida are globose and its seeds are kidney-shaped whereas fruits of A. gonzalezii are more attenuate and its seeds are globose. Unfortunately, the few collections made of saiya in general are of those usually in flower and do not include fruits. Possible reasons for this are the conspicuousness and attractiveness of the flowers and invertebrate and vertebrate herbivory, including cattle, on the immature fruits. Thus, because of few and inadequate specimens the true picture of the distribution and utilization of A. gonzalezii is very unclear. At present this saiya is known with certainty from only two collections in the U.S., (in the Santa Rita and Patagonia Mountains) and four from Mexico, three in Sonora and the type locality in northern Sinaloa. It may occur in Baja California based on a collection and description by T.S. Brandegee 21 years before the plant was described. The plant appears to be more abundant in southern Arizona (J. Kaiser, pers. comm.) and northern Sonora (R. Felger, pers. comm.) but specimens must be collected for documentation.

Up until now, saiya seeds have been difficult to germinate. Ethnographer Homer Aschmann (1959) remarked how central Baja Californians found it difficult to germinate the seeds of A. palmatifida back in the 1940's. However, they may have encouraged root production by regularly disturbing the soil. At the Desert Botanical Garden propagator Patrick Quirk is now growing over a dozen A. palmatifida and four A. gonzalezii following scarification of the seed. Propagation studies and intensive field work to better document A. gonzalezii will continue.

#### SUMMARY

The goals of FLORUTIL are four-fold, 1) to encourage U.S./Mexico collaboration on ethnobotany and conservation, 2) identify economic, ecological, and cultural benefits of plants now threatened, 3) identify areas where useful threatened flora can be protected, and 4) analyze how various uses and land management practices affect endangerment. The area involved is one of great diversity, biologically and culturally,

taking in four U.S. and six Mexican states. Over three-fourths of the area has a semi-arid or arid climate and 17 vegetation provinces are represented.

FLORUTIL will also identify which threatened plants are useful as 1) food, fiber, medicine, etc. without industrial processing, 2) new potential suppliers of chemicals or products for industry, and 3) genetic resources for crop improvement of horticultural and agricultural domesticates. Some extremely rare species have been traditionally utilized by local inhabitants of the desert, and yet there is little understanding of their impact on the population biology of these useful resources. Because of that, it is hoped that those who have studied these species in the field offer their perspective on the threats to these species, and the status of traditional versus commercial uses. If it is found that some rare species have been well-studied, next year's fieldwork will be concentrated on others that are poorly known.

FLORUTIL will also identify which useful threatened plants are currently protected 1) by native plant laws regulating collection and habitat destruction, 2) in situ, within biosphere reserves, sanctuaries, or areas designated critical habitat, and 3) ex situ, in botanical gardens, seed banks, and experiment stations. Ultimately, we hope you can use our results as well as contribute to them. Today, fueled by concerns raised in the FAO, UNESCO, and IUCN, conservationists are considering land reserves for endangered species which will also serve as sanctuaries for threatened cultures, where they can persist in their traditional hunting, gathering, and farming practices, but where logging, mining, or industrial agriculture will not be allowed. The Biosphere Reserve concept includes, not excludes, cultural uses of native plants. We hope that our data analyses will answer a number of questions relating to locating and managing such biosphere reserves.

#### REFERENCES CITED

- Anderson, Edward. 1987. Black magic in cactus country. *Garden*. 11(5):2-5;32.
- Bohrer, Vorsila. 1986. La Ciudad monthly report. February 1, 1986.
- Cothrun, J.D. 1969. Some Aspects of the Germination and Attachment of Ammobroma sonorae, a Root Parasite of Desert Shrubs. Ed. E. Dissertation. Oklahoma State University, Stillwater.
- Felger, R., and M. Moser. 1985. People of the Desert and Sea. University of Arizona Press, Tucson.
- Fish, S.K., P.R. Fish, C. Mikisicsek, and J. Madsen. 1985. Prehistoric agave cultivation in southern Arizona. *Desert Plants* 7(2):107.
- Gentry, Howard S. 1982. Agaves of Continental North America. University of Arizona Press, Tucson.
- Karns, Harry, ed., tr. 1954. Luz de Tierra Incognita. Arizona Silhouettes, Tucson.

Lumholtz, Carl. 1912. New Trails in Mexico.  
Charles Scribner's Sons, New York, N.Y.  
Minnis, P., and S. Plog. 1976. A study of the site  
specific distribution of Agave parryi in east  
central Arizona. Kiva 41(3):299-308.  
Pennington, Campbell. 1980. The Pima Bajo of  
Central Sonora, Mexico. Vol. I. University of  
Utah Press, Salt Lake City.

Taylor, Nigel. 1984. A review of Ferocactus  
Britton & Rose. Bradleya. 2:19-38.  
Yatskievych, George. Notes on the biology of the  
Lennoaceae. Cactus and Succulent Journal  
(U.S.) 57(2):73-79.  
U.S. Fish and Wild Service. 1987. Endangered and  
Threatened Wildlife and Plants; review of  
plant taxa for listing as endangered or  
threatened species; notice of review.  
Department of the Interior.



# Conservation and Development of Food and Medicinal Plants in the Sierra Tarahumara, Chihuahua, Mexico<sup>1</sup>

Robert Bye, Noé Meres Cruz, and Carmen Cecilia Hernández Zacarías<sup>2</sup>

**Abstract.**--Objectives and preliminary results are presented for a project in the Sierra Tarahumara (northern Sierra Madre Occidental) of Chihuahua, Mexico. The endemic dry-season edible green ("quelite"), *Thelypodopsis byei* (BRASSICACEAE), of the deciduous subtropical forests of the barrancas and the medicinal roots, "chuchupate" (*Ligusticum porteri*, APIACEAE) and "matarique" (*Psacalium decompositum*, ASTERACEAE), are of local and national importance. Ecological characterization of natural populations and cultivation are underway in order to prevent the extinction of these economically important herbs as well as to enhance their contemporary role in the diet, health care and commerce of the Tarahumara Indians.

## INTRODUCTION

The Sierra Tarahumara, which includes the mountains and western barrancas, is located in the the Dry Domain Ecoregion of the Sierra Madre Occidental of northwestern Mexico (Bye 1983). The dominant indigenous group in the region is the Tarahumara Indians who exploit a number of native edible and medicinal plants for local consumption as well as for trade (Bye 1981, 1985, 1986; Mares 1982; Pennington 1963). Certain locally restricted plants play a critical role in the season diet, indigenous health care and local commerce as well as national and international markets (Linares & Bye 1987). Changing land use practices and increased consumer demands threaten these limited vegetal resources with local extinction. In order to avoid the loss of these plants as well as to enhance their value in the Tarahumara economy, we have initiated a program of conservation and commercialization of selected species.

<sup>1</sup>Paper presented at the Strategies for Classification and Management of Natural Vegetation for Food Production in Arid Zones Symposium (Tucson, Arizona, October 12-16, 1987).

<sup>2</sup>Unidad de Investigación sobre Recursos Genéticos Vegetales, Jardín Botánico, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, 04510 México, DF, MEXICO.

## STUDY AREA

Western Chihuahua is classified as the **Dry Domain** Ecoregion (Bye 1983, modified from the U.S. Forest Service Ecoregion classification of Bailey 1978). The climate of the eastern foothills and the mountains is described as cool semiarid (BSk) while the upper western slopes are said to be semiarid subtropical (Cwa) (Schmidt 1973).

Southwestern Chihuahua is inhabited by the Tarahumara Indian and mestizo populations. During the last 10 to 15 years, the dominant Mexican economic forces associated with improved communication and transportation services have entered the region and are altering the socioeconomic-ecological system. With these changes, the roles of certain wild and managed plants have shifted. In particular, certain plants have decreased in abundance due to overcollecting, principally by outsiders to the local communities.

## OBJECTIVES

The purpose of this project is to select a few pilot plants and develop techniques for their management in conjunction with Tarahumara participants. The benefit will be three-fold: 1) the plants will not become locally extinct;

2) the local inhabitants will have a supplementary source of income as well as food and medicinal plants; and 3) the demand from local, regional, national, and international markets can be met.

## ACTIVITIES

For each selected plant, the preliminary phase of this project includes: population ecology and habitat description of natural populations; geographic distribution; economic importance in the local, regional and national markets; germination test; introduction of plants into cultivation; and native habitat preservation.

The techniques to be developed will complement the existing empirical practices currently being used by the Tarahumara. In the selected cases, experimental work in the field and in the Jardín Botánico will bypass those barriers that the Tarahumara have not been able to overcome. These barriers include: unreliable seed/propagule production; uneven seed germination; poor asexual propagation. The techniques devised will be of a simple and inexpensive nature that after training, the Indians will be able to carry them out independently.

The first year (initiated in February of 1987) consists of: 1) making local contact with Tarahumara inhabitants (via meetings, individual visits and "tesguinadas" (social-political activities associated with cooperative work and corn beer consumption)); 2) discussing the project and soliciting suggestions from ejidal and Tarahumara officials and school personnel; 3) locating, documenting and characterizing of natural plant populations; 4) collecting of seeds and roots for *in situ* and *ex situ* studies of reproductive characteristics of the plants; and 5) establishing contact with the State of Chihuahua's commission for the coordination of development in the Sierra Tarahumara.

During the second year (1988), demonstration areas will be established on ejidal land as a prelude to pilot cultivation plots. Educational programs for children will be conducted through the schools. Demonstrations for adults will be carried out in each area. First year activities will continue.

The final year (1989) will initiate the pilot cultivation gardens. The educational programs as well as seeds

will be targeted at groups who were the most responsive during the previous year. In the case of plants with commercial value, we will link the Tarahumara with potential national consumers such as the Mexican public health sector and Mexican industries. The introduction of the cooperative concept may be important in order to ensure adequate production and distribution of the plant products (in this case roots).

Project activities of the barranca are centered in Barranca de Batopilas, Municipio de Batopilas, with Tarahumara from the Quírare/Huimayvo region. In the sierra, two project areas are located in Ejido de Cusárare, Municipio de Guachochic, and in Ejido San Ignacio Arareco, Municipio de Bocoyna.

## LOCAL COLLABORATION

The active participation of Tarahumara Indians at the individual as well as ejido levels is imperative for the success of the project. To date various individuals have collaborated through: 1) loan of land and housing; 2) information on past collecting activities and location of natural populations. Meetings with ejido officials indicate that different parcels of land for experimental plantings will be available in 1988. Officials from public (Secretaria de Educación Pública, Zona Tarahumara) and private (Jesuit) schools have agreed to participate in horticultural programs of the Jardín Botánico, UNAM, by providing course time and garden plots in different areas starting in 1988.

Because the benefit of this project will be best measured in the long run, we feel that it is important to stimulate the children in the area of horticulture. Traditional Tarahumara practices include small scale cultivation of plants of special interest. Unfortunately, this tradition is disappearing rapidly due to the infiltration of contemporary materialistic value systems. Reinforcement of native practices of plant management as well as demonstration of potential economic benefit could determine the success of the project.

## FOOD PLANTS

Wild and semi-domesticated plants continue to play an important role in the Tarahumara diet. Because of the contrasting precipitation patterns,



certain dry season and early rainy season plants are critical sources of vitamins and minerals as well as limited vegetable protein in the basic maize-bean-squash-chile diet.

The target food plant for this study is Thelypodopsis byei Rollins (Tarahumara: "mekwásare") of the BRASSICACEAE. It is an endemic annual of the western canyons and grows only during the dry season (December - June). It reproduces by seeds. Other wild mustards are perennial and grow during the rainy season.

The Tarahumara value it as an edible fresh leafy green (Spanish: "quelite") because it is the only native vegetable available during the dry season. In recent years, this wild mustard has declined. With the increased demand for meat to feed the construction workers during the 1970's and 1980's, cattle and goat herding increased dramatically in the area. Being one of the few green plants in the area, it is over grazed by the animals. Only a few isolated pockets of the herb exist today.

Seeds will be gathered and cultivation techniques developed so as to increase the plant. The Tarahumara have their empirical process of "quelite" cultivation (Bye 1979). This project complements that process by increasing the seed for wider distribution. The immediate benefit will be the greater availability of an edible herb adapted to the local dry conditions.

Other plants designated for future studies include:  
Agave pacifica Gentry (A. angustifolia Haw. sensu lat.) AGAVACEAE

Pacific or blue maguey of the western barrancas provides edible flowers and is the basis of local alcohol production ("pistol").

Stenocereus thurberi (Engelm.) Buxb. CACTACEAE

The sweet spineless (at maturity) cactus fruit ("pitaya") is a dry season product of the columnar cactus of the western canyons. The Indian and Mexican peoples are very fond of this sweet fruit for which they often pay more per kilo than that of cultivated fruits.

Opuntia sp. CACTACEAE

An unidentified pricklypear ("tuna"), known from one Tarahumara ranch in the semi-arid oak forests of the upper barrancas, produces a small, yet very flavorful (strawberry-pineapple) fruits in June and July.

## MEDICINAL PLANTS

Among the Tarahumara Indians as with other indigenous Americans, there is no clear cut distinction between edible and medicinal plants. Herbs, roots and barks serve to maintain one's health and are not seen as sources of calories or pharmaceutical substances. The medicinal plants included in this study are not only consumed locally but also have a great and every increasing demand on the national and international scales.

The target species of the project are two medicinal roots that will become very important in the immediate future. Chemical, pharmacological and clinical studies have demonstrated certain levels of efficacy. Recent examples of guayava leaves (Psidium guajava L.) or burn tree bark ("tepezcohuite", Mimosa tenuiflora Benth.) have shown what publicity about proved or demonstrated effectiveness can do to increase the demand and diminish the supplies of medicinal plants that have caught the public's attention. The following plants are under current clinical study and have captured public interest. We anticipate a dramatic increase in the demand and subsequent over collection of the plants. Because of their limited distribution in Mexico, irrational exploitation of natural populations could lead to their extinction. Controlled collecting of wild populations as well as harvesting of cultivated plants can assure adequate and reliable supplies as well as economic income for Tarahumara.

The first target species is Ligusticum porteri C.&R. (sensu lato) of the APIACEAE. Locally known as "chuchupate", this perennial herb is found in the pine-oak forests and produces an odoriferous, resinous rootstock. The roots are highly prized through out Mexico and are imported into the USA as a medicinal plant (Bye 1986; Linares & Bye 1987). It is used by both the Tarahumara and the Mexicans to alleviate stomach aches and to suppress coughs. Pending final approval, the Mexican national health program (Instituto Mexicano del Seguro Social) plans to introduce it as an official medicine plant for treating gastric ulcers of patients in rural and urban clinics under the name "angélica" (X. Lozoya, personal communication).

The popularity and effectiveness of this root has greatly increased the demand for it. Known in Mexico only from the mountains of Chihuahua and adjacent areas, it is marketed widely through out

Mexico. Over the past 10 years, this once readily available remedial root is offered only sporadically. The retail US dollar cost per kilogram of dried roots in the Mexico City market has increased from \$3.48 in 1978 to \$17.77 in 1987. Herb vendors and collectors have indicated that it is now very rare and the quantities are unpredictable. In the Mercado Sonora, the largest medicinal plant market in Mexico, it was no longer available as of September, 1987.

The second target species is Psacalium decompositum (Gray) H. Robins. & Brett. of the ASTERACEAE. "Matarique" is a perennial herb restricted to the mountains of western Chihuahua and adjacent regions. The finely threaded roots are prized for alleviating gastrointestinal and rheumatic pains (Bye 1985). Through out Mexico it is valued as a diabetes remedy and tinctures of it are sold in the USA (Linares & Bye 1987).

As in the case of "chuchupate", the plant has gained popularity and has become overcollected as the new roads open up the mountains. Many local populations are now extinct. The demand in Mexican markets has dramatically increased to the point that it too is sporadically available. The retail US dollar price per kilogram of dried roots in Mexico City's Mercado Sonora rose from \$8.33 in 1978 to 16.60 in 1987.

Another important medicinal plant which faces similar threats and which may be studied as part of the project in the near future is Hintonia latiflora (Sess. & Moc. ex DC.) Bullock of the RUBIACEAE. The bark of "copalquín" prized for relieving fevers and body pains (Bye 1986).

#### CONCLUSIONS

This initial report outlines the target species of food and medicinal plants restricted to the Sierra Madre Occidental of northwestern Mexico. Because of their restricted distribution and economic importance coupled with anthropogenic factors which threaten the existence of natural population, a project is underway to save the species. Cultivation of the plants, in particular the medicinal roots, not only provides an alternative source of vegetal material for commerce but also can generate economic income for the indigenous population while relieving collecting pressure on wild plants.

Rather than propose a preservation policy for these plants, we believe that it is beneficial to **increase** the interaction between the plants and the Tarahumara. Thus, the plants will develop more under human management and the people (of the region as well as those outside) will place a greater value on them -- and thus manage them better.

The Tarahumara have valued these plants and have "managed" them to a certain extent. However, they have not been able to respond quickly to the increased demand. The drastic rate of plant population reduction has been caused by increased demands generated by intense forces foreign to their past experiences. By combining the traditional Tarahumara plant management techniques with those of western science, certain barriers to rapid plant propagule regeneration can be removed. With more plants available for distribution, the Tarahumara can cultivate them and use them locally or move them through established marketing systems.

The conservation concept is based upon two important ethnobotany points: 1) effective conservation of plants can be achieved by increasing the positive interaction between plants and people, and 2) the people from whom the plants and information originated should benefit directly from the results of field and laboratory studies.

#### ACKNOWLEDGMENT

The project is supported in part by a grant from the U.S. Agency for International Development in collaboration with the Desert Botanical Garden, Phoenix, Arizona. Dr. Gary Nabhan and Ing. Charles Venator serve as advisors. Biol. Teolinda Balcazar assisted in the gathering of market and economic data.

#### LITERATURE CITED

- Bailey, R.G. 1978. Description of the Eco-Regions of the United States. Ogden, UT: U.S. Forest Service, Intermountain Region.  
Bye, R.A. 1979. Incipient domestication of mustards in northwest Mexico. Kiva 44: 237-256.



- Bye, R.A. 1981. Quelites - ethnoecology of edible greens - past, present and future. *Journal of Ethnobiology* 1: 109-123.
- Bye, R.A. 1983. Vegetation and Soils. in E.R. Stoddard, R.L. Nostrand, & J.P. West (eds.), Borderlands Sourcebook. A guide to the literature on northern Mexico and the American Southwest, pp. 98-104. Norman, OK: Univ. of Oklahoma Press.
- Bye, R.A. 1985. Medicinal plants of the Tarahumara Indians of Chihuahua, Mexico. in R.A. Tyson and D.V. Elerick (ed.), Two Mummies from Chihuahua, Mexico -- A Multidisciplinary Study. San Diego, CA: San Diego Museum of Man, San Diego Museum Papers no. 19, pp. 77-104.
- Bye, R.A. 1986. Medicinal plants of the Sierra Madre: comparative study of Tarahumara and Mexican market plants. *Economic Botany* 40: 103-124.
- Linares, E., and R.A. Bye. 1987. A study of four medicinal plant complexes of Mexico and adjacent United States. *Journal of Ethnopharmacology* 19: 153-183.
- Mares Trias, A. 1982. Ralamuli Nu'tugala Go'ame (Comida de los Tarahumaras). Chihuahua, Chih: D. Burgess McGuire
- Pennington, C.W. 1963. The Tarahumar of Mexico - Their Environment and Material Culture. Salt Lake City, UT: University of Utah Press.
- Schmidt, R.H. 1973. A Geographical Survey of Chihuahua. *Southwestern Studies. Monograph no. 37*. El Paso, TX: Texas Western Press.

# INTRODUCCION AL ESTUDIO DE LAS PLANTAS ALIMENTICIAS DE BAJA CALIFORNIA SUR<sup>1</sup>

Heriberto Parra H.<sup>2</sup>

Resumen.- Este trabajo rescata y sistematiza la información sobre el uso y utilización de las plantas alimenticias silvestres del estado de Baja California Sur en México según las utilizaban los Guaycuras y Pericúes nativos de esa región así como los colonizadores de la época post-misional. En base a una exhaustiva revisión bibliográfica y a encuestas personales, se generó un catálogo de 106 plantas alimenticias que comprenden a 57 géneros - de 30 familias en las que sobresalen por su importancia Cactaceae y Mimosa-ceae. 30 de estas especies resultaron ser las más importantes y profusamente utilizadas representando el 27% del total. Se concluye que las plantas alimenticias de Baja California Sur revisten vital importancia como nuevas fuentes potenciales de alimentación para consumo humano y que sus características de adaptación y resistencia a la sequía las convierten en valioso germoplasma para usos agronómicos que podrían generar nuevos cultivos de bajos requerimientos de agua adaptados a las zonas áridas.

## INTRODUCCION

El acelerado desarrollo tecnológico de las últimas décadas, ha incrementado y mejorado a un grado - superlativo el rendimiento de las cosechas, con el - fin de cubrir las demandas de una población mundial que se multiplica vertiginosamente, sin embargo, -- desde tiempos históricos, no se ha inducido al cultivo ninguna nueva especie, se puede decir que todos los cultivos alimenticios y de fibras actuales ya - eran accesibles al hombre primitivo.

Se estima que de las 350,000 especies vegetales que existen en la tierra (1), solo entre 1000 y 2000 han tenido importancia económica para el hombre y de éstas solo 15 especies proveen los alimentos que le permiten su sobrevivencia.

Según Felger y Nabhan (2), son 7 las especies - principales que sostienen a la humanidad, estas son: trigo, arroz, maíz, cebada, soya, frijol común y papa, las cuales exceptuando el arroz han tenido su -

<sup>1</sup> Ponencia presentada en la Reunión sobre Estrategias de clasificación y manejo de vegetación silvestre para la producción de alimentos en zonas áridas.

<sup>2</sup> Ing., Director del Centro de Investigaciones - Forestales y Agropecuarias; La Paz, Baja California Sur, México.

origen en zonas semiáridas. Los restantes cultivos básicos no rebasan algunas docenas, aspecto importante si se considera que en el mundo se calcula - que existen 30,000 especies de plantas alimenticias siendo 3,000 las que potencialmente representan -- fuentes importantes de alimentación.

Desafortunadamente los cultivos antes mencionados son genéticamente vulnerables a plagas y enfermedades tradicionales y ninguna muestra adaptación a las zonas áridas y semiáridas (2), que cabe aclarar, representan dos terceras partes de la superficie de la tierra; ésto nos demuestra la gran - necesidad de contar con cultivos adaptados a esas condiciones de aridez, para así poder introducir - la agricultura a estas grandes superficies del globo terrestre y de esta forma coadyuvar a la creciente demanda de alimentos principal fuente de energía para el hombre.

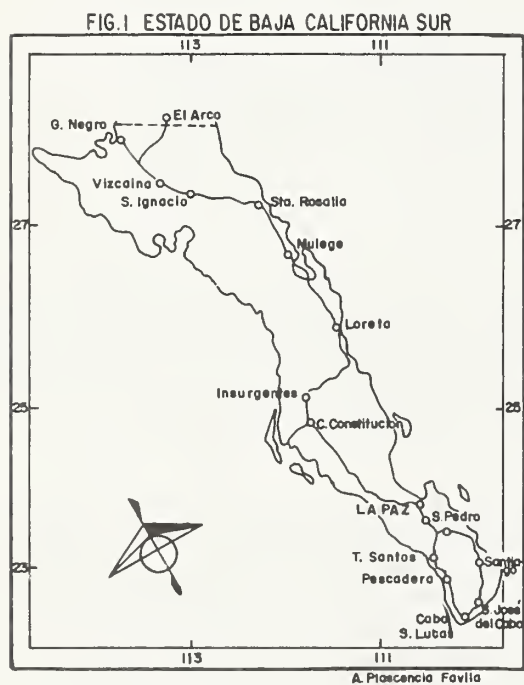
En contraposición a los siete cultivos principales antes mencionados, existe una gran diversidad de plantas alimenticias que habiéndose adaptado a - las zonas áridas, han constituido por miles de años, la base de la alimentación de los indígenas de los desiertos (2). Estas especies podrían inducirse al cultivo utilizando una diversidad de nichos ecológicos en zonas áridas y semiáridas con mínimos requerimientos de agua y energía. Para maximizar la



productividad y minimizar los costos, estos nuevos cultivos deberán desarrollarse adaptándolo al medio ambiente y no tratando de modificar al medio ambiente para adaptarlo al cultivo (3).

El objetivo principal de este trabajo es dar a conocer la importancia que tienen las plantas alimenticias silvestres de Baja California Sur, a través del rescate del conocimiento popular y de la información dispersa en relación al uso y utilización de estas plantas para el consumo humano.

Para lograr dichos objetivos se recurrió a una exhaustiva revisión bibliográfica, entrevistas personales y observaciones de campo, este trabajo se realizó en el estado de Baja California Sur (figura 1) en el lapso correspondiente de 1979 a 1984.



#### REVISIÓN DE LITERATURA

No existen estudios etnobotánicos sobre el estado de Baja California Sur a excepción de la información al respecto reportada por los misioneros españoles, por este motivo se mencionan como referencias, algunos de los resultados de estudios etnobotánicos y ecológicos realizados por Felger, Moser y Nabhan en el denominado desierto Sonorense.

El desierto Sonorense (figura 2) lo constituyen 310,000 km<sup>2</sup> que albergan 2,500 especies de plantas que producen semillas (4). Felger y Nabhan (3) reportan que el 18% de esa flora ó sea 450 es-

pecies (375 especies nativas y 75 especies naturalizadas), fueron utilizadas profusamente por diferentes nativos de la región.

Más del 10% de esas 375 especies alimenticias han sido utilizadas como fuentes importantes de alimentación.

Una relación similar se encuentra en las plantas utilizadas por los indios Seris de Sonora, quienes habitaron una parte del desierto Sonorense.

Cuando menos 80 especies de esta región, más del 15% del total de esa flora, se sabe que han sido utilizadas como alimento por los Seris y más del 10% de éstas (8-10 especies) fueron las fuentes principales de su alimentación. (5).

Algunas de las características más importantes de estas plantas de las zonas áridas y semiáridas son las siguientes: gracias a su evolución, han logrado adaptarse plenamente a las condiciones extremas del medio ambiente. Las plantas efímeras germinan rápidamente al haber humedad disponible en el suelo: su ciclo vital se completa en una sola estación o incluso antes, éstas evitan la sequía prolongada permaneciendo latentes como semillas por largo tiempo,

Las plantas perennes como los cactus, resisten las sequías debido a sus tejidos suculentos, algunos árboles o arbustos la resisten porque pueden aprovechar el agua del subsuelo y en general, gracias a diversas adaptaciones, almacenan agua y reducen su pérdida por transpiración.



S. Arredondo R.

Estudios recientes muestran que las plantas - de los desiertos pueden multiplicar al máximo la - energía alimenticia de sus semillas y tubérculos - (2). Las semillas de estas plantas son con frecuen- cia de menor tamaño que sus homólogos de zonas - templadas o tropicales, pero ésto no los hace infe- riores como alimentos, antes al contrario se ha de- mostrado con el frijol que el tamaño de la semilla es inversamente proporcional al valor proteínico - (6).

Esta energía nutritiva concentrada es una de- las características de las zonas áridas que las ha- cen ideales como plantas alimenticias. Otra carac- terística importante es su alta capacidad fotosin- tética. (7).

A pesar de no conocer su antigüedad, la pre- sencia de las pinturas rupestres de Baja Califor- nia Sur, nos demuestra que el hombre primitivo (8). Aunque no se ha determinado con exactitud la fecha de la entrada del hombre a la península, se le ha- asignado una antigüedad mayor de 7,000 años a algu- nos "concheros" (montones de conchas formadas por los indígenas al consumir los mariscos del golfo - de California (9).

La población de la región propiamente peninsu- lar, hoy desaparecida debido a la introducción de- enfermedades europeas, se formaba de tres grupos - lingüísticamente diferentes pero culturalmente se- mejantes: de norte a sur, los Cochimíes, Guaycuras y Pericúes. (figura 3).

FIG.3 REGIONALIZACION DE LOS GRUPOS ETNICOSEXTINTOS



G. Becerra M.

Dichos grupos eran neolíticos, seminómadas -- que vivieron de la caza, pesca y recolección de -- las semillas y frutas comestibles sin los benefi- cios de la agricultura, los animales domésticos, - la cerámica y la vivienda permanente; la homogenei- dad cultural se debía a la adaptación absoluta al medio ambiente. Esta adaptación se manifestó en - dos formas, la alimentación y elaboración de nece- sidades materiales relacionados con la adquisición de alimentos, el vestuario y la vivienda, utilizan- do elementos minerales, vegetales y animales.

Debido a la total desaparición de estos indí- genas, la única información disponible sobre el - uso de las plantas alimenticias de esos días, es- la que dejaron en sus escritos los misioneros, en- tre los que destacaban Miguel del Barco, Juan Ja- cobo Baegert, Miguel Venegas, Francisco Javier Cla- vijero y el padre Piccolo entre otros, habiéndose perdido mucho de ese conocimiento y sabiduría al - no haberse perpetuado de generación en generación.

#### MATERIALES Y METODOS

La metodología de este trabajo consistió en - la determinación de las plantas alimenticias y el conocimiento de las características del desierto - Sonorense, Baja California Sur y Todos Santos, para lo cual se recurrió a revisiones bibliográficas, en- trevistas y observaciones de campo.

Un considerable porcentaje de la metodología consistió en una exhaustiva revisión bibliográfica, la cual se realizó en tres diferentes niveles, uno que abarca la región denominada desierto Sonorense y que nos permitió fundamentar y enmarcar el traba- jo en el contexto etnobotánico regional. Una segun- da revisión bibliográfica sobre Baja California Sur que nos permitió ubicarnos a nivel estatal y final- mente una tercera etapa más específica sobre la zo- na de Todos Santos, que fué donde se llevaron a ca- bo así mismo las entrevistas y observaciones.

Se realizaron 30 entrevistas en el poblado de Todos Santos y rancherías aledañas, así como 10 más entre residentes de la ciudad de La Paz originarios de la zona de Todos Santos.

Las observaciones de campo consistieron en la localización de las plantas y la verificación de - la información obtenida en las entrevistas.



## RESULTADO Y CONCLUSIONES

Con el presente trabajo se rescató y sistematizó la información que sobre el tema se encontraba dispersa y se concluye que los Cochimies, Guaycuras y Pericúes utilizaron profusamente las plantas alimenticias y que la poca información al respecto es la que reportaron los misioneros en sus escritos.

Que fueron los mismos españoles quienes cambiaron los hábitos alimenticios de los indígenas, los cuales acabaron por desaparecer por completo a causa de las enfermedades introducidas por los españoles. Con ellos desapareció el más completo conocimiento de las plantas alimenticias y sus usos.

Los rancheros a pesar de esa pérdida de conocimiento, aprendieron de nueva cuenta y por experiencia propia, a usar paulatinamente las plantas alimenticias. Es importante mencionar que tanto indígenas como rancheros llegaron eventualmente a coincidir en el uso de las mismas plantas para los mismos propósitos.

Se remarca que estas plantas alimenticias se caracterizan por tener simultáneamente otros usos - tales como forrajes, medicinales, industriales, para construcción, artesanal, ornamental, etc.

Así mismo se concluye que se detectaron 106 especies alimenticias en Baja California Sur que corresponden a 57 géneros de 39 familias y sobresalen en importancia por el número de especies, las familias Cactaceae, Amaryllidaceae y Mimosaceae, habiendo sido altamente significativo Cactaceae con 8 géneros y 27 especies.

De esas 106 plantas alimenticias, 30 especies fueron las más importantes y profusamente utilizadas en la región de Todos Santos desde antes de la ocupación misional y representan el 27% del total, a continuación se describen:

### PLANTAS ANUALES Y EFIMERAS

#### Familia AMARANTHACEAE

"Quelite" (*Amaranthus watsoni*) Standley

De esta especie, al igual que *A. palmeri*, se tuestan sus semillas y se comen en pinole ó atoles; así mismo sus retoños tiernos son cocidos o guisados en múltiples formas.

#### Familia CHENOPODIACEAE

"Chual" (*Chaenopodium fremontii*) S. Wats.

Las semillas se tuestan y se muelen, los retoños tiernos crudos, cocidos ó guisados como si fueran quelites.

#### Familia PORTULACACEAE

"Verdolaga" (*Portulaca oleracea*) L.

Las semillas de éstas se tuestan y se comen en pinole ó atole, los retoños tiernos crudos se utilizan en ensalada ó bien cocidos en múltiples formas.

### RAICES, TUBERCULOS Y BULBOS

#### Familia COCHLOSPERMACEAE

"Saiya" (*Amoreuxia palmatifida*) Sesse & Moc. ex. O.C.

Los tubérculos se consumen crudos, cocidos - en caldo o bien tatemados ligeramente; asimismo, las flores y frutos tiernos son comestibles.

#### Familia POLYGONACEAE

"San Miguel" (*Antigonon leptopus*) Hook & Arn.

Las semillas se tuestan hasta que revientan y se muelen para hacer una harina. También se consume el tubérculo tatemado ó cocido.

#### Familia EUPHORBIACEAE

"Caribe ó mala mujer" (*Cnidosculus angustidens*) Torr.

Las semillas se tuestan y se comen. El tubérculo se consume tostado ó cocido.

#### Familia CONVULVACEAE

"Jicama" (*Exogonium bracteatum*) (Cav.) Choisy

Se comen los tubérculos crudos, los cuales contienen mucha agua.

### ARBOLES Y ARBUSTOS

#### Familia AMARYLLIDACEAE

"maguey" (*Agave spp.*)

De sus pencas, cabeza y pedúnculo, una vez asados, se obtiene un producto que fué muy apetecido por los indios; las flores exudan miel que puede ser aprovechada; asimismo las semillas se muelen para la elaboración de harina.

Esta especie constituyó uno de los alimentos básicos de los nativos pobladores de la región.

Familia SAPOTACEAE

"Bebelama" (Bumelia occidentalis) Hemsl.  
Los frutos se comen crudos ó en conserva.

Familia SOLANACEAE

"Chilteñín silvestre" (Capsicum annuum var. baccatum).

El fruto se utiliza crudo como condimento - y saborizante en diversos platos; asimismo se pueden emplear en curtidos de gran aceptación en la cocina mexicana.

Familia CAESALPINACEAE

"Palo verde" (Cercidium microphyllum) (Torr.) Rose & Jhtn.

Las semillas de esta especie se tuestan y se muelen cocciéndose en agua las vainas verdes se pueden comer crudas o cocidas asimismo las flores.

Dentro del mismo género Cercidium floridum - "dipúa", también se emplean las vainas y semillas tostadas y molidas, con las cuales se elabora una harina y se come como atole.

Familia ANACARDIACEAE

"Ciruelo cimarrón" (Cyrtocarpa edulis) (Brandeggee) Standley.

De esta especie, abundante en la región del Cabo, se utilizan sus frutas crudas, las cuales - tienen un sabor agri dulce que sirve para apagar - la sed; también se consumen en almíbar o en curtidos. Las semillas crudas y tostadas llamadas chuniques también son un alimento apetecido a manera de golosina, ya que poseen un sabor parecido a la nuez.

Familia EBENACEAE

"Guayparín" (Diospyros californica) (Brandeggee) I. M. Jhtn.

Los frutos se comen crudos ó cocidos en almíbar.

Familia MORACEAE

"Salate" (Ficus brandeggee) Standley y (E. palmeri) S. Wats.

Los frutos pueden ser ingeridos crudos o en almíbar. Las semillas tostadas y molidas también tienen propiedades alimenticias.

Familia VERBENACEAE

"Orégano" (Lippia palmeri) S. Wats.

Las hojas desmenuzadas sirven para condimentar un sin número de alimentos. Principalmente empleadas en la cocina Italiana y Mexicana.

Familia ASCLEPIADACEAE

"Talayote" (Matelea cordifolia) (A. Gray) Woodson.

El ejote se puede comer crudo ó guisado de diferentes maneras ó bién en escabeche.

Familia PINACEAE

"Piñón" (Pinus cembroides) Zucc. var. (lagunae) Passini.

Las semillas pueden ser comidas crudas ó tostadas o bién molidas para hacer pasteles, poseen un alto poder energético por su contenido de proteínas y aceites.

Familia MIMOSACEAE

"Mezquite" (Prosopis juliflora)

Las semillas en vaina se tuestan y se muelen; con la harina resultante se pueden hacer panes. -- Las vainas crudas sazonadas también son consumidas para apagar y calmar la sed.

Familia FAGACEAE

"Encino" (Quercus spp)

La semilla es la parte comestible; se pueden ingerir crudas o tostadas; asimismo se puede elaborar con la harina de éstas un atole.

Familia RUBIACEAE

"Papache" (Randia megacarpa) Brandeggee  
Los frutos se comen crudos ó en mermelada.

Familia BUXACEAE

"Jojoba" (Simmondsia chinensis) (Link) schneider.

La semilla cruda ó tostada se considera como sustituto de café asimismo se puede preparar champurrado mezclado con leche, también se pueden elaborar galletas, mezclando la pasta de la semilla - molida y tostada mezclada con harina de trigo.

Familia TURNERACEAE

"Damiana" (Turnera diffusa) Willd.

Sus hojas y ramas tiernas son ampliamente utilizadas para la preparación de una infusión muy popular, el "té de damiana"; asimismo se elabora con élla un licor muy apreciado.

Familia LILIACEAE

"Yuca" (Yucca valida) T. S. Brandeggee

Se comen los pétalos de la flor cocidos y guisados de diversas formas. Los frutos pueden comerse crudos ó cocidos en almíbar.



## PALMAS

### Familia ARECACEAE (Palmae)

#### "Palma de abanico" (Washingtonia robusta) Wendl

Los frutos poseen muy poco mesocarpo, sin embargo, la corteza está rodeada de una sustancia azucarada de sabor agradable. Las semillas se pueden moler para hacer harina. El corazón ó palmillo puede ser ingerido.

## CACTUS

### Familia CACTACEAE

#### "Biznaga" (Ferocactus spp)

Los botones y las flores se comen cocidos. Los frutos se comen crudos ó en almíbar. La pulpa del tallo sirve para elaborar dulce, cubierto. Las semillas molidas también pueden ser ingeridas.

#### "Pitaya dulce" (Lemairocereus thurberi) (Engelm) Britt. & Rose.

El fruto de esta especie fué el más importante y apreciado de las poblaciones indígenas, es también el que más popularidad tiene hasta la fecha. Su fruto se come crudo ó bien puede ser secado, en las rancherías se cuece hasta alcanzar una consistencia de pasta que se puede conservar por largo tiempo.

#### "Pitaya agria" (Machaerocereus gummosus) (Engelm) Britt. & Rose.

El fruto de esta especie se come crudo ó seco. Asimismo por un proceso de fermentación sirve para hacer vino.

#### "Cholla" (Opuntia cholla) Weber

La parte comestible es el fruto, el cual se come crudo y los retoños tiernos, se pueden ingerir a manera de nopalitos.

#### "Nopal" (Opuntia spp)

Las pencas tiernas guisadas de diversas formas tradicionales. Los frutos se comen crudos ó cocidos hasta hacer una pasta.

#### "Cardón" (Pachycereus pringlei) (S. Wats) Britt & Rose.

La parte comestible de este cactus es el fruto, el cual se come crudo. Sus semillas fueron muy apreciadas por los nativos de la región. También se puede elaborar vino.

De estas 30 especies, 20 que representan el 66.6% siguen utilizándose con bajos niveles de importancia y principalmente por los integrantes de las rancherías y pequeños poblados, llegando al mercado de La Paz, capital del estado, solamente pitaya dulce, orégano, damiana y en algunos casos ciruelas cimarronas. Las 10 restantes que representan el 33.3%

han caído en desuso, sin embargo fueron alimentos importantes de los indígenas.

Aunque los rancheros sudcalifornianos saben que las plantas reportadas son alimenticias escasamente las utilizan, debido a motivos de carácter económico, social y cultural. El principal limitante para un consumo constante y sostenido de estos alimentos es la estacionalidad de los mismos y que en su gran mayoría solo se encuentran disponibles en y después de la época de lluvias.

Con los resultados de este estudio se está puntualizando la posibilidad de diversificar las dietas alimenticias del sudcaliforniano principalmente en áreas rurales.

En otro orden de ideas se concluye que las plantas alimenticias de Baja California Sur, revisten vital importancia como nuevas fuentes potenciales de alimentación para el consumo humano, que sus características de adaptación y resistencia a la sequía están afines a la realidad ecológica de la región y las convierte en plantas generadoras de germoplasma para usos agronómicos y perspectivas de domesticación, lo cual podría generar eventualmente nuevos cultivos de bajos requerimientos de agua adaptados a las zonas áridas y semiáridas.

## LITERATURA CITADA

- (7) - Bjorkman, O. and J. Berry. 1973. High Efficiency Photosynthesis, Scientific American. 229 (4): 80-92.
- (2) - Felger, R.S. and Nabhan, G.P. 1976 Ceres. Vol. 9. No. 2, pp.34.
- (3) - Felger, R. S. and Nabhan, G.P. 1978. Agroecosystem Diversity; a model from the Sonoran Desert. Social and technological management in dry lands. N. González Ed. Westview press. Boulder pp. 19-149.
- (5) - Felger, R.S. and M. B. Moser. 1976. Seri Indian food plants: Desert subsistence without Agriculture, Ecology of food and nutrition. Vol. 5 pp.13-17.
- (8) - Hambleton, Enrique. 1979. La pintura rupestre de Baja California. Fomento Cultural al Banamex. pp.18. México.
- (1) - Janick, J., Scherg, R. W. 1969. Woods. . . W. and Ruttan, V. W. Plant Science V.W. Freeman Co. pp.629.
- (6) - Kaplan, L. 1973. Domestication of American Beans. C. E. Smith Jr. Edit. Food and his food. Alabama University press.

(9) - Mathes, W. Mivhel. 1979. La adaptación del bajacaliforniano al medio ambiente desde la antigüedad hasta mediados del siglo XIX. Memoria del III Simposio Binacional sobre el medio ambiente del golfo de California. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. pp. 199.

(4) - Shreve, F. and Wiggins. I. L. 1964. Vegetation and flora of the Sonoran desert. Stanford University press.



# PRODUCCION COMERCIAL DE CACTACEAS AMENAZADAS EN ZONAS ARIDAS

Guadalupe Malda<sup>1</sup> y Jorge Jiménez<sup>2</sup>

Resumen.- La sobrecolección de algunas cactáceas ha disminuido considerablemente sus poblaciones naturales. En un vivero ejidal piloto se capacita a los campesinos para que propaguen y comercialicen el recurso. Se practican técnicas de reproducción vegetativa y sexual. Para determinar la colecta de propágulos, se evalúan poblacionalmente las especies.

## INTRODUCCION

El impacto de la actividad humana sobre el medio ambiente ha hecho resentir a las poblaciones de plantas y animales a tal grado que una gran porción se encuentran en peligro de extinción. En el caso de las plantas, las especies más afectadas son las de lento crecimiento o poca potencialidad reproductiva; las especies endémicas o bien las que son explotadas comercialmente sin que exista un plan de manejo adecuado.

Una de las causas por las que ciertas especies se encuentren amenazadas por extinción es la magnitud de los saqueos de ejemplares silvestres en sitios con una riqueza florística considerable pero con alto grado de endemismo.

Entre los casos más dramáticos tenemos como ejemplo que en 1980 salieron del país 1300 ejemplares de la cactácea *Ariocarpus agavioides* y cerca de 6000 del género *Pelecypora*; ambas plantas endémicas de Tamaulipas. En 1987 aún siguen saliendo ilegalmente plantas amenazadas, como sucedió en el caso de la expedición de un permiso ilegal que permitía la salida del país de una tonelada de semillas de cactáceas, todas endémicas de Tamaulipas. Obviamente, saqueos de esta magnitud impiden la recuperación de las poblaciones naturales.

Al hacer una revisión de los listados de plantas en peligro de extinción, publicados por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, por el Instituto Nacional de Investigaciones

sobre Recursos Bióticos y por Texas Organization for Endangered Species, hemos encontrado que para el Noreste de México se tienen reportadas entre 70 y 90 especies amenazadas por extinción, 60% de las cuales son cactáceas.

Lamentablemente, dichos reportes difieren mucho entre sí debido a que no hay información suficiente ni estudios específicos al respecto. Una gran parte de las especies reportadas en estos listados están agrupadas en la categoría indeterminada, lo que quiere decir que no se sabe el estado real de las poblaciones en el campo.

Como se mencionó anteriormente, gran parte del problema se debe al tráfico ilegal de estas plantas. Esto representa un grave problema socioeconómico para los habitantes de las zonas áridas, ya que la comercialización de cactus, aunque sea ilegal, constituye una fuente de ingresos económicos a los campesinos, por lo que prohibir su venta resultaría una medida bastante drástica e inútil.

Por otro lado, una de las actividades realizadas por los habitantes de zonas áridas es el aprovechamiento de algunas cactáceas comestibles, como la biznaga o el pitayo. Sin embargo, esto se hace sólo mediante la extracción de ejemplares silvestres.

## CREACION DEL VIVERO PILOTO.

El presente trabajo propone un plan de propagación de cactáceas amenazadas ornamentales, así como de algunas comestibles, con la finalidad de que el campesino obtenga ingresos económicos y al mismo tiempo proteja el recurso.

La zona de trabajo está ubicada en el suroeste del Estado de Tamaulipas, en el Ejido La Reforma, Municipio de Jaumave. Consultando con los habitantes de la zona se nos otorgó un terreno de media hectárea

<sup>1</sup> Guadalupe Malda. Investigador titular. Instituto de Ecología y Alimentos. U.A.T.

<sup>2</sup> Jorge Jiménez. Auxiliar de Investigación. Instituto de Ecología y Alimentos. U.A.T.

(ver foto 1), para la creación de un vivero. Al mismo tiempo, se organizó una comisión entre los campesinos para encargarse del establecimiento y



Foto. 1. Vista del terreno para el vivero.

mantenimiento del vivero. Hasta la fecha esta comisión la forman dos ejidatarios dedicados de tiempo completo al trabajo.

Como primer paso, se procedió a delimitar el terreno con cercas vivas de pitayo (*Stenocereus spp.*) y garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*), con el objetivo de que dentro de algunos años los habitantes locales puedan cosechar frutos para autoconsumo sin tener que caminar largos trechos (ver foto 2).



Foto 2. Cerca viva de pitayos.

Posteriormente se iniciaron las labores de acondicionamiento del terreno, nivelando el suelo en los sitios donde éste se pierde a causa de las lluvias. Se hizo una limpieza de la vegetación del terreno, respetando los árboles y arbustos nativos, para que posteriormente se utilicen como sombreaderos naturales. También se están construyendo sombreaderos

artificiales con material regional, donde se acondiciona el suelo para formar camas de siembra.

La selección de las especies para propagar se hizo de acuerdo con los siguientes criterios:

- 1) Las especies reportadas en peligro de extinción para la zona.
- 2) Las especies que sufren un mayor saqueo por los comerciantes ilegales.
- 3) Las especies seleccionadas por los campesinos.

De esta manera, las especies amenazadas ornamentales escogidas fueron:

Mammillaria carmenae  
Mammillaria albicoma  
Mammillaria candida  
Obregonia denegrii  
Astrophytum myriostigma  
Ariocarpus trigonus

Por otro lado, las especies comestibles que serán propagadas en el vivero son el pitayo (*Stenocereus sp.*) y la biznaga (*Echinocactus platyacanthus*).

#### EVALUACION DE POBLACIONES SILVESTRES.

Para la colecta de semillas, propágulos y plantas madre, previamente se realiza una evaluación de las poblaciones naturales cercanas a la zona de trabajo.

Dicha evaluación consiste en un análisis poblacional en el que se toman en cuenta los factores que a continuación se mencionan:

- 1.- Ubicación de las poblaciones.
- 2.- Área ocupada por la población.
- 3.- Cantidad de agrupaciones de plantas (en el caso de cactáceas de hábito cespitoso).
- 4.- Número de plantas en flor.
- 5.- Número de plantas con fruto.

De cada localidad, se muestrea el 10% de la población, tomando los siguientes datos:

- Número de individuo por grupo.
- Área ocupada por grupo.
- Tamaño en diámetro por individuo.
- Número de plántulas.

Es muy difícil en cactáceas determinar las edades, por lo que para hacer el análisis de los datos poblacionales se procederá a categorizar a los individuos por su diámetro. De esta manera es posible agrupar el número de individuos por cada categoría, y conocer la densidad y distribución espacial por categoría.

Con este análisis y con los datos de floración y fructificación será posible conocer los aspectos fenológicos de las especies, y así poder determinar el número de semillas y propágulos que se pueden colectar en el campo sin afectar la regeneración natural de las poblaciones.

Por otro lado, el análisis poblacional servirá como base para conocer el estado real del grado de extinción en que se encuentran las especies.



La evaluación poblacional se comenzó con Mammillaria carmenae, encontrándose hasta la fecha dos localidades. La primera consta de una población muy pequeña de apenas 17 individuos, 4 de los cuales son plántulas. Esta localidad es saqueada constantemente, con la colecta preferente de plantas pequeñas.

La segunda localidad no ha sido saqueada hasta la fecha, encontrándose 40 agrupaciones de plantas. Muestreando el 10% de la población se ha notado que las plantas que crecen aisladas son de un diámetro mayor que las que crecen en grupos. En los recorridos hechos durante los meses de mayo y junio se encontró que todas las plantas con 2 cm. de diámetro o más estaban fructificando, representando aproximadamente el 80% de la población muestreada.

#### PROPAGACION.

Por el momento, mientras se realiza la evaluación con todas las demás especies, se están colectando algunos individuos como plantas madre, de las especies Mammillaria candida, Ariocarpus trigonus, Astrophytum myriostigma y Obregonia denegrii. Estas especies se ven seriamente afectadas por la erosión de suelos en época de lluvias; por lo que es frecuente encontrar las plantas con la raíz totalmente descubierta.

Este hecho es el criterio que se usa para la colecta de plantas madre, de tal manera que sólo se recogen plantas desenterradas para integrarlas al vivero.

El mantenimiento de las plantas madre se hace en los sombreaderos naturales (ver foto 3). Para esto, se limpió el espacio que cubrían la sombra de árboles y arbustos presentes en el terreno; se removió el suelo y se limitó esta área con empedrado. Cada sombreadero se rodeará con malla de gallinero para proteger de predadores a las plantas madre.



Foto 3. Sombreaderos donde se mantienen las plantas madre.

En estos sombreaderos ya han floreado y fructificado una buena cantidad de plantas, de donde se están tomando las semillas para la propagación sexual.

Las camas de siembra para la reproducción por semilla están diseñadas para conservar temperatura y humedad constantes. El suelo que se utiliza es el mismo de la zona, y el único tratamiento que se da es el tamizado.

Con las pruebas de germinación realizadas hasta la fecha, hemos notado que el porcentaje de germinación es mayor con las semillas recién tomadas del fruto en comparación con semillas almacenadas.

Con respecto a la propagación vegetativa se trabaja con dos técnicas:

#### Corte de brotes.

A las plantas del género Mammillaria se les está forzando la producción de brotes mediante la aplicación de fertilizante; y parece ser que sí hay respuesta favorable.

Posteriormente, los brotes producidos son cortados y se les aplica enraizador combinado con fungicida. Una vez enraizados los brotes, se colocan en camas de siembra para su crecimiento. Finalmente, cuando las plantas adquieran el tamaño adecuado, serán transplantadas a las parcelas en el vivero.

Las pruebas de corte de brotes hechas con Mammillaria carmenae, Mammillaria candida y Mammillaria albicoma han resultado satisfactorias, notándose un crecimiento más rápido de plantas obtenidas por brote que por semilla.

#### Injertos.

Se están construyendo camas de siembra bajo sombreaderos de material regional para poner a crecer algunas cactáceas columnares como Stenocereus spp., Echinocereus spp. y Myrtillocactus spp.. Estas plantas serán utilizadas como patrón para realizar los injertos, especialmente de plantas dañadas de su raíz o de las cactáceas que no producen brotes.

Cabe mencionar que las pruebas de propagación que hemos hecho hasta el momento han sido a nivel laboratorio. Una vez acondicionadas todas las instalaciones rústicas en el vivero, se capacitará a los campesinos para que ellos mismos realicen la propagación de las cactáceas.

Las plantas producidas en el vivero se destinarán principalmente para su venta. Para esto, se están iniciando los trámites necesarios para desarrollar el sistema de venta legal.

Se escogerán algunas plantas de aspecto vigoroso, producidas en el vivero, para reintegrarlas a su habitat, en poblaciones que presenten menos presiones

de amenaza.

Finalmente, se pretende difundir a otras áreas de la zona árida este tipo de trabajo, utilizando el vivero piloto del ejido La Reforma como demostración de lo que se puede hacer para conservar los recursos vegetales de zonas áridas.

#### BIBLIOGRAFIA.

-Anderson. F. Edward. 1982. A Meeting on the Cactus Trade. Cactus & Succulent Journal (U.S.) vol. 54:82-85.

-Breck F.G. 1980. How to germinate cacti seeds. Texas Wildflower Newsletter. Fall 1980.

-Hartmann & Kester 1980. Propagación de plantas. Principios y prácticas. 4o. imp. CECSA. México.

-I.N.I.R.E.B. 1985. Relación de plantas mexicanas raras o en peligro de extinción. Lista proporcionada por el Jardín Botánico Fco. J. Clavijero, Jalapa, México.

-I.U.N.C. 1983. Rare, threatened and insufficiently known endemic cacti of Mexico. Threatened Plants Committee - Botanic Gardens Conservation Co-ordinating Body. Threatened Plants Unit. July 83.

-T.O.E.S. 1977. Endangered plants of Texas. Texas Wildflower Newsletter. Fall 77:5-7.



245

# EVALUACION DE LA VARIACION EN FORMAS DE NOPAL (*OPUNTIA* SPP) TUNERO EN LA ZONA CENTRO DE MEXICO<sup>1</sup>

Eulogio Pimienta Barrios<sup>2</sup>, Adriana Delgado Alverado<sup>3</sup> y Ricardo Mauricio Leguizano<sup>3</sup>

La evaluación de las poblaciones de nopal tunero silvestre y cultivado en la zona Central de México, reveló la existencia de una gran variación. Esta variación se expresa en términos de la morfología de cladodios y frutos, época de maduración del fruto, color y peso del fruto, proporciones en los componentes del fruto (cáscara, pulpa y semillas) y composición química de la pulpa del fruto y las semillas.

## INTRODUCCION

En la Zona Centro de México se encuentra una amplia variación en formas de nopal tunero. Estas se encuentran distribuidas en tres tipos de nopaleras: silvestres, de solar y cultivadas. Esta variación se expresa en aspectos de: morfología vegetativa (cladodios) y reproductiva (flores y frutos) (Peralta, 1983); fenología reproductiva (épocas de floración y maduración de frutos) (Pimienta *et al.*, 1986); proporción de componentes del fruto maduro (cáscara, pulpa, semilla) (Delgado, 1985; Mauricio, 1985) y composición química de la pulpa y la semilla (Delgado y Pimienta 1987). En este artículo se presenta una forma conjunta los resultados de estas evaluaciones, además se discutirá la importancia que representa esta variación en el potencial futuro de aprovechamiento del nopal tunero.

## MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo se llevó a cabo durante los años 1984, 1985 y 1986 en 23 municipios localizados en los estados de Zacatecas, Aguascalientes, San Luis Potosí, Jalisco y Guanajuato. La metodología que se utilizó se describe a continuación.

<sup>1</sup> Ponencia presentada en la Reunión de Estrategias de Clasificación y Manejo de Vegetación Silvestre para la Producción de Alimentos en Zonas Áridas (Tucson Arizona, Octubre 12-16, 1987)

<sup>2</sup> Investigador Titular. Centro de Investigaciones Forestales y Agropecuarias de San Luis Potosí. San Luis Potosí. México.

<sup>3</sup> Ex-becarios. Centro Regional para Estudios de Zonas Áridas y Semiáridas.

## Selección de Localidades, Nopaleras y Plantas

En la selección de localidades se utilizó la cartografía de CETENAL y el conocimiento personal adquirido a través de entrevistas con personas de experiencia en el área de estudio. La selección de nopaleras se realizó a través de recorridos de campo, apoyándose en los siguientes criterios: en el caso de las silvestres, fueron seleccionadas aquellas que presentaban abundancia de plantas y que se encontraba en explotación por las poblaciones circunvecinas. En el caso de las de solar, se seleccionaron aquellas que contaban con variación en formas y que además los propietarios mostraban disposición para proporcionar información. Para la selección de las cultivadas se consideraron los siguientes aspectos: superficie cultivada, disponibilidad de los propietarios, así como la importancia de la producción que se obtiene.

## Toma de Datos

En las nopaleras seleccionadas se registraron los siguientes datos: nombre de la localidad, tipo de nopalera, origen de material vegetativo, altitud, período de floración y maduración de los frutos, manejo, sanidad, mercado y comercialización.

En cada nopalera seleccionada se identificaron plantas representativas de la población, en las que se colectaron 20 frutos que se utilizaron para evaluar las siguientes variables: peso del fruto, peso de la porción comestible (pulpa) y no-comestible (cáscara y semillas).

En la pulpa se evaluaron los siguientes compuestos químicos: porcentaje de sólidos solubles totales; azúcares totales (Dubrois *et al.*, 1956); azúcares reductores (Somogyi, 1952); vitamina 'C' (Freed, 1966; Loeffler y Ponting, 1942) y Clorofila

(Arnon, 1949).

## RESULTADOS

En el Cuadro 1 se presenta una relación de formas de nopal tunero, que representa la variación registrada en períodos de maduración en el área de estudio. Esta relación revela que el período potencial de cosecha de frutos en los tres tipos de nopaleras, se extiende por un período de 8 meses (mayo-diciembre). Sin embargo, en las nopaleras cultivadas este período se reduce a 4 meses (julio-octubre), lo cual es aparentemente debido a que la mayoría de las formas que producen frutos con características aceptables para el consumo fresco, maduran frutos durante este período.

Cuadro 1. Períodos de maduración de frutos en formas de nopal tunero.

Nombre Común	Período de Maduración de Frutos
Tapón de Mayo <sup>2</sup>	Mayo-Junio
Pachona <sup>2,3</sup>	Julio
Chapeada <sup>1,2</sup>	Julio-Agosto
Reyna <sup>1</sup>	Julio-Agosto
Naranjona <sup>1</sup>	Agosto
Pelón-Liso <sup>1,2</sup>	Agosto
Amarilla <sup>1,2</sup>	Agosto-Septiembre
Blanca-Cristalina <sup>1</sup>	Agosto-Septiembre
Calabazona <sup>2</sup>	Agosto-Septiembre
Cardona <sup>3</sup>	Agosto-Septiembre
Fafayuco <sup>1,2</sup>	Septiembre-Noviembre
Bola de Masa <sup>2</sup>	Octubre-Noviembre
Cascarón <sup>3</sup>	Octubre-Noviembre
Charola <sup>2</sup>	Noviembre-Diciembre

<sup>1</sup> Forma colectada en nopalera cultivada

<sup>2</sup> Forma colectada en nopalera de solar

<sup>3</sup> Forma colectada en nopalera silvestre

A pesar de que existe una amplia variación en formas de nopal tunero, se observa que la producción comercial se apoya en el uso de nueve formas de nopal tunero (Cuadro 2).

Además de la variación en aspectos de fenología, se registró también variación en el peso de los frutos y sus componentes. En el Cuadro 3 se presenta una relación de formas representativas de esta variación.

Un aspecto importante que surge del Cuadro 3, es el hecho de que el peso mayor del fruto y la porción comestible se registró en frutos colectados en nopaleras cultivadas; los pesos menores se registraron en frutos colectados en nopaleras silvestres. En las nopaleras de solar se registraron valores intermedios.

La evaluación de componentes químicos de la pulpa, reveló que el porcentaje de azúcares oscila entre 12 y 17%; en la mayoría de las formas, un porcentaje alto de estos azúcares son reductores. La evaluación del contenido de vitamina 'C', reveló que el valor más alto es de 41 mg/100g y el menor de 8.1 mg/100g. Con excepción de la forma 'tapona', los valores más altos de vitamina 'C' se registraron en formas que producen frutos con pulpa de color verde-claro. En los frutos con pulpa de color rojo y amarillo, se registraron los contenidos más bajos. Se encontró también, que en los frutos color verde claro se sintetiza y acumula el pigmento clorofila; este pigmento imparte un sabor desagradable a los frutos.

Cuadro 2. Formas de nopal tunero utilizadas en nopaleras cultivadas en la Zona Centro de México.

Nombre Común	Estado Productor	Período Maduración
Alfayucan	México Hidalgo Guanajuato	Julio-Agosto
Chapeada	Zacatecas Jalisco San Luis Potosí	Julio-Agosto
Amarilla	Guanajuato Aguascalientes Zacatecas	Julio-Septiembre
Naranjona	Jalisco Zacatecas	Agosto
Pelón-Liso	Guanajuato San Luis Potosí	Agosto
Blanca Cristalina	Guanajuato Zacatecas	Septiembre-Octubre
Burrona	Zacatecas Jalisco	Septiembre-Octubre
Blanca de Castilla	Aguascalientes Zacatecas	Septiembre-Octubre
Papantón	Zacatecas	Septiembre-Octubre

La evaluación del porcentaje de



aceite y proteína en las semillas, reveló también la existencia de variación. Sin embargo, es importante resaltar, que los porcentajes más altos de aceite y proteína, se registraron en semillas de frutos colectados en nopaleras silvestres y los menores en cultivadas.

Cuadro 3. Variación en el peso del fruto y sus componentes en formas de nopal tunero.

Nombre Común	Peso fruto (g)	Peso porción comestible (g)	Peso porción-no comestible (g)	
			cáscara	semilla
Cristalina <sup>1</sup>	239.5	152.0	79.3	7.9
Pepinillo <sup>1</sup>	190.6	106.9	77.2	6.6
Blanca <sup>1</sup>	178.9	95.5	76.3	4.6
Calabazona <sup>2</sup>	174.9	102.8	65.5	6.1
Fafayuco <sup>2</sup>	166.5	77.0	81.5	6.5
Blanca				
Castilla <sup>1</sup>	147.5	75.1	67.5	5.9
Amarilla <sup>1,2</sup>	143.0	79.3	59.8	3.9
Chapeada <sup>1,2</sup>	128.7	62.8	61.1	4.8
Camuesa <sup>2</sup>	128.4	72.6	50.3	5.4
Pelón <sup>1,2</sup>	116.1	58.7	52.3	5.1
Charola <sup>2</sup>	89.5	42.2	44.6	2.7
Pachona <sup>2,3</sup>	61.4	29.4	29.7	2.3
Cardona <sup>3</sup>	59.5	19.7	38.1	1.7

<sup>1</sup> Forma colectada en nopalera cultivada

<sup>2</sup> Forma colectada en nopalera de solar

<sup>3</sup> Forma colectada en nopalera silvestre

Cuadro 4. Variación de componentes químicos de la pulpa en formas de nopal tunero.

Nombre Común	Azúcares (%)		Vitamina 'C' (mg/100g)	Clorofila total (ug/g)
	Totales	Reductores		
Serrana <sup>1</sup>	17.2	8.7	41.0	2.8
Camuesa <sup>2</sup>	16.4	10.9	16.4	0.0
Chapeada <sup>1</sup>	16.3	10.3	22.4	4.4
Apastillada <sup>1</sup>	16.0	9.0	9.8	4.6
Fafayuco <sup>1</sup>	14.1	4.7	34.6	2.1
Cardona <sup>2</sup>	13.9	6.1	8.1	0.0
Papantón <sup>1</sup>	13.9	8.9	20.3	6.9
Pelón-Liso <sup>2</sup>	13.8	8.4	16.5	0.0
Naranjona <sup>3</sup>	13.2	8.6	24.2	0.0
Pepinillo <sup>1</sup>	12.4	9.1	19.3	4.4

<sup>1</sup> Frutos con pulpa de color verde-claro

<sup>2</sup> Frutos con pulpa de color rojo

<sup>3</sup> Frutos con pulpa de color amarillo

El análisis de la composición de ácidos grasos en el aceite de las semillas, reveló que los principales ácidos grasos son: linoleico, oleico, palmítico y esteárico. De estos ácidos el linoleico, es el que ocurre en mayor porcentaje (Cuadro 6).

Cuadro 5. Porcentajes de aceite y proteína en semillas de frutos de formas de nopal tunero.

Nombre Común	Aceite (%)	Proteína cruda base seca (%)
Tapón <sup>3</sup>	20.0	8.6
Cascarón <sup>3</sup>	16.2	10.7
Bola de Masa <sup>2</sup>	15.4	8.2
Fafayuco <sup>2</sup>	14.4	8.3
Redonda <sup>2</sup>	14.4	8.3
Cardona <sup>3</sup>	14.2	9.3
Pachón <sup>3</sup>	11.6	8.5
Chapeada <sup>1,2</sup>	10.6	8.8
Cristalina <sup>1</sup>	10.1	7.1
Amarillo <sup>1,2</sup>	9.8	8.6
Pelón Liso <sup>1</sup>	8.4	8.8
Burrona <sup>1</sup>	6.4	6.2

<sup>1</sup> Fruto colectado en nopalera cultivada

<sup>2</sup> Fruto colectado en nopalera de solar

<sup>3</sup> Fruto colectado en nopalera silvestre

Cuadro 6. Composición de ácidos grasos en el aceite de semillas de frutos en formas de nopal tunero.

Nombre Común	Acido graso (%)			
	Linoleico	Oleico	Palmítico	Esteárico
Roja	77.3	12.9	8.9	0.7
Chapeada	74.9	14.9	8.9	1.1
Blanca	74.5	13.7	10.5	1.3
Pelón-Blanco	70.7	14.1	14.9	0.9
Mazuda	68.9	15.9	14.9	0.7
Apastillada	68.7	18.1	14.3	0.9
Calabazona	67.3	17.3	14.4	0.9
Pachona	66.7	14.1	10.2	1.1
Cardona	61.1	23.4	13.2	2.4
Tapona	59.8	22.2	15.6	2.4

## DISCUSION

Los resultados de este trabajo revelan que en la Zona Centro de México existe una amplia variación en formas de nopal tunero, que se refleja en la variación de períodos de maduración, peso de frutos, color de la pulpa, proporción de componentes del

fruto maduro (cáscara, pulpa y semilla) y la composición química de la pulpa y la semilla. Un aspecto importante de la distribución y localización de esta variación, lo constituye el hecho de que en las nopaleras de solar se registró la variación más abundante, ya que en estas se registraron formas que se encuentran en nopaleras silvestres y cultivadas.

Los resultados de esta evaluación revelan que en las nopaleras cultivadas y de solar las formas utilizadas producen frutos, que son superiores en peso y calidad a los registrados en frutos de nopaleras silvestres. Esto sugiere que las formas que se han acopiado en las nopaleras de solar y cultivadas, son el resultado de un proceso de selección empírica practicada por los campesinos de las zonas áridas en las poblaciones nativas. El hecho de que las nopaleras de solar son más antiguas que las cultivadas, permite sugerir que las formas seleccionadas inicialmente fueron acopiadas en nopaleras de solar, principalmente para satisfacer necesidades de autoconsumo familiar. Posteriormente, a partir de estas poblaciones se llevó a cabo una segunda selección de fenotipos que se utilizaron para establecer las nopaleras cultivadas. Sin embargo, aparentemente esta selección fue más rigurosa debido a que además de aspectos de calidad del fruto se consideraron otros atributos, especialmente los relacionados con su capacidad de adaptación a condiciones ambientales adversas que prevalecen en las zonas áridas, e.g. sequía, heladas, daños por animales silvestres y aspectos relacionados con el proceso de comercialización, e.g. forma y tamaño de frutos, resistencia de los frutos al manejo durante la cosecha, embalaje y transporte.

Los resultados de la evaluación de la composición química del fruto ('tuna), revelan que desde el punto de vista nutricional es comparable a otros frutos que comúnmente se utilizan para obtener diversos tipos de subproductos e.g. jaleas, mermeladas, alcoholes, vinagres, colorantes, aromatizantes (Brutsch, 1984; Delgado, 1985).

Las partes no-comestibles del fruto (cáscara y semillas) son también susceptibles de aprovechamiento industrial. En el caso de las semillas, los porcentajes de aceite y la composición de ácidos grasos, indican que este es similar a los aceites comestibles de soja y cártamo (Cigala, 1979; Delgado, 1985); además la pasta que se obtiene de la extracción del aceite, se puede utilizar como forraje (Cigala, 1979). La cáscara por ser un tallo modificado (Pimental y Engleman, 1985), puede ser utilizada para obtener pectinas y colorantes.

Se ha generado tecnología para el aprovechamiento agroindustrial de componentes químicos del fruto, la que es factible adoptar en proyectos de aprovechamiento

agroindustrial del nopal tunero. Algunos ejemplos son: obtención de nectares, mermeladas y jaleas (Cruz, 1981); aceite comestible (Cigala, 1979); colorantes alimenticios (Valadez *et al.*, 1978); proteína microbiana (Paredes, 1976), pectinas (Mind *et al.*, 1975, citado por Sawaya *et al.*, 1983). También se han registrado evidencias de potencial de uso medicinal de las partes vegetativas (cladodios) y reproductivas (flores y frutos) del nopal tunero (Meyer y McLaughlin, 1981).

El nopal tunero potencialmente representa una alternativa valiosa para las zonas áridas, siempre y cuando en proyectos futuros de explotación comercial extensiva se considere el aprovechamiento integral de la planta.

#### LITERATURA CITADA

- Arnon, D.E. 1949. Cooper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiol. 24: 1-15.
- Cigala, S.S. 1979. Industrialización integral de la tuna cardona. Tesis Profesional. Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas. Instituto Politécnico Nacional.
- Cruz, P.M.E. 1981. Desarrollo de productos de tuna blanca y roja en: Simposium sobre la investigación y el desarrollo experimental en CONAFRUT durante 1981. pp. 711-721.
- Delgado, A.A. y E. Pimental B. 1987. Variación en componentes químicos del fruto de nopal (*Opuntia* spp) tunero en el Altiplano Potosino-Zacatecano. II Congreso Nacional de Horticultura. Irapuato, Gto. p. 84.
- Dubois, M. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Anal. Chem. 28: 350-356.
- Figuerola, H.F. 1984. Estudio de las nopaleras cultivadas y silvestres sujetas a recolección en el mercado Altiplano-Potosino Zacatecano. Tesis de Licenciatura Facultad de Agronomía Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Freed, M. 1966. Methods for determination of ascorbic acid In: Methods of vitamin assay. Interscience Publisher- Nueva York, N.Y. 293-320.
- Loeffler, H.J. and Ponting, J.D. 1942. Ascorbic acid determination in fresh frozen, or dehydrated fruits and vegetables. Indust. and Eng. Chem. Anal. 14: 846-849.



- Mauricio, L.R. 1985. Caracterización fenológica y morfológica de formas de nopal (Opuntia spp) tunero en el Altiplano Potosino-Zacatecano. II Primavera-Verano 1983. Tesis de Licenciatura. Facultad de Agricultura, Universidad de Guadalajara.
- Meyer, B.N. and McLaughlin. 1981. Economic uses of Opuntia. Cactus Succulent J. 53: 107-112.
- Paredes, L.G. 1976. Utilización del jugo de tuna para la producción de proteína microbiana en cultivos intermitentes y continuo. Rev. Tecnol. Alim. (Mex) 11: 155-168.
- Pimienta, B.E., R. Mauricio L. y A. Delgado A. 1986. Caracterización de la variación en formas de nopal tunero en el Altiplano Potosino-Zacatecano. I. Variación fenológica y de componentes del fruto maduro. XI Congreso Nacional de Fitogenética. Guadalajara, Jal. p. 104.
- Pimienta, B.E. y E.M. Engleman, 1985. Desarrollo de la pulpa y proporción en volumen de los componentes del lóculo maduro en tuna. Agrociencia 62: 51-56.
- Peralta, M.M.V. 1983. Caracterización fenológica y morfológica de formas de nopal (Opuntia spp) de fruto (tuna) en el Altiplano Potosino-Zacatecano. Tesis de Licenciatura Centro Agropecuario. Universidad Autónoma de Aguascalientes.
- Sawaya, N.W., H.A. Khatchadourian, W.M. Saffi and H.M. Al-muhammad. 1983. Chemical Characterization of prickly pear pulp Opuntia ficus-indica, and the manufacturing of prickly pear jam. J. Food Technol. 18, 183-193.
- Somogyi, M. 1952. Notes on sugar determination. J. Biol. Chem. 195: 19-23.
- Valadez, Y.S., V.A. Valadez y S.C. Chaletain 1978. Pigmentos de la tuna cardona como posibles colorantes alimentarios. CONAFRUT.

# DIAGNOSTICO DE LA PAPITA GUERA (SOLANUM SPP) EN EL ALTIPLANO POTOSINO ZACATECANO, MEXICO<sup>1</sup>

Soledad Hernández Jabalera<sup>2</sup>

Resumen.--La papita güera es una especie silvestre que se aprovecha como alimento en el centro de México. En las entrevistas realizadas, se detectó que su población ha disminuido, que existen diferentes especies y que han sido pocos los intentos de los productores por sembrarla.

## INTRODUCCION

El incremento en la densidad de población y las condiciones difíciles de producción en la zona árida de México, nos obliga a considerar los recursos que potencialmente contribuyen a resolver la demanda de alimentos. La papita güera -- Solanum spp. es una especie silvestre que se ha recolectado tradicionalmente y que forma parte de la dieta de la población rural del Altiplano Potosino Zacatecano en el norte-centro de México. Esta especie se caracteriza por su capacidad de adaptación a los factores climáticos adversos de esta zona, y además posee otras características -- como: sabor agradable y contenido protéico de -- 3.2% (Galindo, 1982); considerado más alto que el reportado para la papa común (Solanum tuberosum), y es resistente a plagas y enfermedades.

El objetivo del presente trabajo fue capturar información sobre el conocimiento y la utilización de la papita en esta región. Este trabajo forma parte del proyecto Domesticación de la Papita Guera (Solanum cardiophyllum y S. enhrenbergii).

## REVISION DE LITERATURA

La papita forma parte de la flora del Altiplano Potosino Zacatecano; el cual está ubicado en la zona árida y semiárida de México (Luna 1983), se le conoce como: papita güera, papita de monte, papita loca y papita de barbecho. Esta especie es colectada para consumo o bien para venta en los mercados locales y la colecta se realiza después de la cosecha del maíz hasta el barbecho del siguiente ciclo (Galindo 1982).

<sup>1</sup>Artículo presentado en el Simposium de Estrategias de Clasificaciones y Manejo de la Vegetación Silvestre para la producción de alimentos en zonas áridas. (Tucson, Arizona, U.S.A., 12-16 Octubre, 1 987).

<sup>2</sup>Soledad Hernández Jabalera Investigador de la Unidad de Diagnóstico Socio-Económico en el CIFAP-Aguascalientes. INIFAP/SARH. México.

Una cualidad importante de la papita es su resistencia a la sequía; ya que se ha logrado obtener producciones en localidades con precipitaciones muy bajas, (42.7 mm) (Otero, Pimienta y Rocha 1986). Galindo (1982) reporta que en Aguascalientes se sembró maíz y papita asociados, y después de una fuerte sequía sólo hubo producción de papita güera.

Respecto a su manejo Martínez (1984) menciona que si bien no existe una selección de tubérculos para sembrar, la gente deja en el terreno tubérculos que permitan su repoblación.

## MATERIALES Y METODOS

El trabajo se inició en 1983, en la región del Altiplano Potosino Zacatecano, parte de los estados de Aguascalientes, Jalisco y Guanajuato, situados entre los 21° y 23° de latitud norte y los 101° y 103° de longitud oeste; en clima es de tipo BS y la precipitación es de 310 a 430 mm. La información aquí presentada se obtuvo con base en entrevistas dirigidas a productores de maíz y frijol bajo temporal y fue ésta la única base para seleccionar los informantes. Se realizaron dos entrevistas; la primera fue con el fin de detectar puntos de interés en la utilización de la papita (exploratoria) y con la información obtenida se planteó la segunda entrevista (formal). Las entrevistas cubrieron los siguientes aspectos: a) Existencia de la planta en el terreno, con la finalidad de saber si la población de la papita se mantiene en su predio; b) La planta, en este aspecto se preguntó sobre características morfológicas de la planta, así como época de brotación, cosecha y su distribución en el terreno; c) Utilización, o sea el destino, ya sea para autoconsumo o bien para su venta en los mercados locales; d) Interés por sembrarla, este aspecto tiene la finalidad de saber si el productor había realizado algún intento de sembrarla, o bien si conocía alguien que lo hubiera hecho. Las entrevistas se realizaron de junio a septiembre de 1983 a 1986.



## RESULTADOS Y DISCUSION

Durante 1984 se realizaron 124 entrevistas; de las cuales 63 corresponden al estado de Aguascalientes, en la región denominada El Llano; 20 al estado de Jalisco, principalmente en el municipio de Ojuelos; 24 en Zacatecas, especialmente en el municipio de Pinos y 14 en Guanajuato. Las entrevistas de estos últimos estados se realizaron durante 1985 y 1986. (Cuadro 1).

Cuadro 1. Entrevistas de papita güera realizadas a productores de maíz y frijol principalmente durante 1984 a 1986.

MUNICIPIO	EDO.	COMUNIDADES	ENTREVISTAS (No.)
Asientos	Ags.	10	10
Aguascalientes	Ags.	28	53
Ojuelos	Jal.	12	15
Villa Hidalgo	Jal.	1	3
Lagos de Moreno	Jal.	1	2
Pánfilo Natera	Zac.	3	5
Pinos	Zac.	9	19
Ocampo	Gto.	2	13
San Felipe	Gto.	1	4
Total		67	124

Se verificó que los productores entrevistados conocieran la papita y la tuvieran en sus cultivos de maíz y frijol de temporal; ya que en la región de Ojuelos, Jal. también se encontraba en el cultivo de trigo. Del 70 al 86% de los entrevistados, manifestaron que en su predio actualmente existe menos papita que antes y que una de las causas, es la utilización de maquinaria en la preparación del suelo para la siembra, ya que estas labores se realizan, en ocasiones, cuando ya ha emergido la planta de papita y al remover la tierra se pierde la planta (Cuadro 2).

Cuadro 2. Existencia de papita güera en el terreno. Entrevistas. 1984-1986.

CONCEPTO	ESTADO			
	AGS.	JAL.	ZAC.	GTO.
	- - - - - (%) - - - - -			
Conoce la papita güera	100	100	100	100
Considera que en su predio hay menos	86	70	70	86
Utilizan maquinaria	70	80	63	100
Afirman que con el uso del tractor se reduce la cantidad de papita	48	35	63	71

Sin embargo, existe otra práctica que favorece la conservación del recurso, ésta es que un 57% en promedio de los entrevistados al realizar las prácticas de cultivo dejan que crezca la

planta de papita, ya que no consideran que compita con el cultivo.

En el Cuadro 3, se presentan los datos obtenidos con relación a la planta. Se encontró que existen dos tipos de papita; la que se considera dulce y que es comestible y una amarga o loca (no comestible). En el municipio de Pánfilo Natera, Zac. se encontró que los productores tienen perfectamente definidos los predios en que se localiza la papita amarga o loca, lo cual coincide con lo que reporta Quezada y Pimienta (1985).

Las entrevistas expresan, en general, que la papita emerge en junio o bien con "las lluvias" (de un 60 a 100%) y que esta lista para cosecharse a partir de septiembre y octubre, lo cual coincide con lo reportado por Hernández y Bárcenas (1985) quienes señalan que la entrada de papita a los mercados de Aguascalientes inicia a partir de octubre.

Respecto al color de la flor manifestaron que existen los siguientes tipos: blanca, blanca con lila, crema y morada; dominando el color blanco. Otra descripción que hicieron es que existen plantas con hojas glabras y otras pubescentes; también observaron (50%) que en pocas ocasiones las plantas mueren ya sean por enfermedad o por sequía. Aunque son pocos los datos descritos por los productores, éstos identifican la planta en su etapa vegetativa (de producción) como cuando es sólo una varita, o tallo seco, cuando es la época de cosecha. También han observado que la distribución de la planta en la parcela es en pequeñas poblaciones (manchones).

Cuadro 3. Características de la planta. Entrevistas. 1984-1986.

CONCEPTO	ESTADO			
	AGS.	JAL.	ZAC.	GTO.
	- - - - - (%) - - - - -			
Emerge en junio	70	60	74	100
Puede cosecharse a partir de sep-oct.	48	30	11	14
Flor color blanca	65	72	57	100
Distribución en pequeñas poblaciones (manchones)	95	85	93	100

La papita es recolectada para consumo y para venta (Cuadro 4); en Aguascalientes, domina la utilización de la papita para consumo (82% de los casos) a diferencia de los otros estados en que además se vende. El dato anterior coincide con lo reportado por Hernández, S. y Bárcenas, J. (1985) quienes mencionan a Ojuelos, Jal. como el principal origen del producto que se vende en los mercados de Aguascalientes. Sin embargo, la venta de la papita va a estar determinada por la producción natural de cada año, ya que si el año no fue bueno se recolecta sólo para autoconsumo.

Respecto a la cantidad que se recoge, en Aguascalientes reportan de 1 a 15 kg por año tanto de su predio como fuera de él; la recolección la hacen mujeres, niños y hombres, tanto en terrenos de cultivos como en aquellos lugares sin cultivar. Generalmente se remueve la tierra con azadón o bien con maquinaria en el momento del barbecho.

Una práctica que se realiza al recolectar la papa, es dejar la más pequeña para semilla y de esta manera asegurar la nacencia del siguiente ciclo. Esta práctica se realiza principalmente en Aguascalientes y Zacatecas en 47 y 52% respectivamente.

Cuadro 4. Utilización de la papita güera. Entrevistas. 1984-1986.

CONCEPTO	AGS.	ESTADO		GTO.
		JAL.	ZAC.	
	- - - - -	(%)	- - - - -	
Consumo	82	35	37	43
Venta y consumo	9	40	44	50
Recolectan de 1 a 15 kg por año	67	20	19	35
Dejan la pequeña pa- ra semilla	47	45	52	36

Los productores de esta región han hecho muy pocos intentos por sembrar la papita; ya que un 97%; 80%; 81% y 86% para Ags., Jal., Zac. y Gto. respectivamente, no la han sembrado. Entre las experiencias expuestas al sembrarla, mencionan que es posible obtener buenas producciones y que en aquellos casos que no prosperó, se debió principalmente al tipo de suelo que fue diferente donde se colectó y donde fue sembrado, otro productor expresó que sembró una mezcla de papita dulce con amarga. La siembra generalmente se hicieron en pequeñas superficies (en el lindero de la parcela, 2 ó 3 surcos, etc.).

#### CONCLUSIONES

Las conclusiones a las que llegó esta investigación exploratoria son las siguientes:

1. Las poblaciones de papita están disminuyendo.

2. Existen diferentes especies de Solanum que se conocen como papita güera.
3. La papita presenta una distribución en pequeñas poblaciones dentro de la parcela.
4. Es recolectada principalmente para consumo en todas las localidades y para venta en parte de Jal., Zac. y Gto. como actividad secundaria.
5. Son pocos los intentos que los productores han hecho por sembrarla.
6. Es necesario determinar las condiciones edáficas en que se desarrolla la papita.

#### LITERATURA CITADA

- Galindo Alonso, Jorge. 1982. La papita güera, naturaleza 13 (3): 175-180 pag. México.
- Hernández Jabalera, Soledad y J.A. Bárcenas. 1986. "Marco de Referencia de la papita güera enfocado hacia la comercialización" in Reunión de investigación sobre papita güera. Memoria. 4a. San Luis Potosí, México. 31 May., 1985. p. 14.
- Luna Cavazos, Mario. 1983. Distribución y aspectos ecológicos de la papita silvestre (Solanum cardiophyllum. Lindl.) en el Altiplano Potosino Zacatecano. Tesis. (Biol.) Nuevo León, Méx. Universidad Autónoma, Facultad de Ciencias Biológicas. p. 95.
- Martínez V., Enrique. 1984. "Manejo de Solanum sp., papita". in Curso Etnobotánico BOT-624. Montecillos, Méx. Colegio de Postgraduados Centro de Botánica. 8 y 9 Dic. 11 p.
- Otero Martínez, Martha L., E. Pimienta Barrios y F. Rocha Ortiz. 1986. "Desarrollo Fenológico de la papita güera en condiciones de humedad restringida". in Reunión de investigación sobre papita güera. Memoria. 4a. San Luis Potosí, Méx.; 31 May., 1985. p. 17-18.
- Quezada Guzmán, Esperanza y E. Pimienta Barrios. 1986. "Distribución e identificación taxonómica de especies de papita güera". in Reunión de investigación sobre papita güera. Memoria. 4a. San Luis Potosí, Méx.; 31 May., 1985. p. 16.



245

# Increasing Productivity in the Matorral of Northeastern Mexico: Domestication of Ten Native Multipurpose Tree Species<sup>1</sup>

R. Foroughbakhch, R. Peñaloza, and H. Stienen<sup>2</sup>

**Abstract.**— Ten multipurpose tree species native to the matorral (low dry shrubland and forest) of the Gulf Coastal plain in north-eastern Mexico were planted in monoculture in four randomized blocks. Measurements of various growth parameters over the first three years were evaluated. *Leucaena leucocephala* performed best, while the two *Prosopis* spp and *Helietta parvifolia*, the only non-legume, did not establish well due to biotic problems which arose under plantation conditions. Three *Acacia* spp and two *Pithecellobium* spp (ebano and tenaza) showed high yields which is of great interest since their multipurpose potential is the best of all 10 species. They could be of great importance in rehabilitating badly degraded parts of the matorral before such areas deteriorated to an irreversible desertified condition.

## INTRODUCTION AND OBJECTIVES

Linares, in Nuevo León is situated on the coastal plain of the northern Gulf of Mexico (Llanura del Golfo Norte). The region is characterized by a remnant natural vegetation generally referred to as xerophytic shrubland or shrub (matorral xerofito). The regional matorral is composed of a great number of shrub and small tree species and occurs as different structural types and in diverse associations, depending on altitude, soil type, rainfall, frost intensity etc. (Reid et al., 1987: this volume). Approximately 40% of Mexico is covered by similar vegetation (Rzedowski, 1978) so xerophytic matorral has considerable ecological and economical importance.

Over the centuries, the matorral has been subjected to more or less intensive grazing, timber extraction and clearfelling for other landuses such as horticulture and sown pastures. The remnant matorral has been considerably modified by anthropogenic influence and livestock, giving rise to successional and disclimax communities. The tendency is for irreversible deterioration and erosion of the soil resource (Gonzalez,

1984). The removal or disturbance of the matorral and the resulting ecological changes in the new agricultural and fruitgrowing areas periodically produce detrimental socio-economic effects (Synnott, 1986).

It is therefore necessary to preserve and enrich the extant matorral vegetation, using native and introduced species with multipurpose characteristics (Foroughbakhch & Peñaloza, 1987), thereby avoiding the enormous investment required to reestablish severely degraded vegetation in dry labile regions, as has been done, for instance, in northern Chile (Stienen, 1985).

In order to obtain basic data on the survival, growth and development of autochthonous matorral tree species under edaphic and climatic conditions typical of the region, a plantation of 10 species had been established near Linares, N.L. The aim of these domestication experiments is to learn more about the behaviour of the species and their management potential, their reaction towards inter- and intraspecific competition away from the natural community, and the importance of biotic and abiotic limitations to their development.

The species were selected for their multipurpose characteristics (Heiseke & Foroughbakhch, 1985; Wolf & Perales, 1985; Foroughbakhch & Martínez, 1986) and productive potential, with a view to their use in managed silvopastoral systems in the

<sup>1</sup>Paper presented at the Symposium "Strategies for classification and management of native vegetation for food production in arid zones" (Tucson, Arizona October 12-16, 1987).

<sup>2</sup>Facultad de Silvicultura y Manejo de Recursos Renovables, Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), Linares, N.L., México

remnant matorral (Foroughbakhch, Peñaloza & Stienen 1987). This paper reports the establishment of plantations of the 10 native tree species and the results of the first three year's growth.

#### STUDY AREA AND ECOLOGICAL FACTORS

The experiment is being conducted in the forestry experimental area of the Linares campus of the Universidad Autónoma de Nuevo León (24°47'N and 99°32'W). The plantations are located on a plain 430m a.s.l. about 25 km east of the Sierra Madre Oriental. Originally the area was covered by typical, medium high, semithorny matorral, much of which has now been cleared. The remnant matorral is presently used for silvicultural enrichment treatments, agroforestry and silvopastoral experiments, studies of vegetation dynamic, and ecological observations.

##### Regional Climate

The study area has a semidry to subhumid climate with very low winter precipitation (system of Köppen, modified by García, SPP, 1981). It is of the (A)C(Wo) type with two periods of summer rainfall, the dry periods occurring in midsummer and winter.

The annual precipitation is 749 mm, of which 594 mm fall between May and October and only 155 mm between November and April. The mean annual temperature is 22.3°C, but temperatures vary greatly across the year and even within months. Occasional hailstorms and frosts occur, especially at the beginning of the vegetative period in March.

As a consequence of the variable rainfall distribution, the water budget of the vegetation fluctuates markedly. The precipitation/evaporation ratio is 0.48, and the aridity index of De Demertonne is 25.4 (Rojas Mendoza, 1965).

##### Soil

The soils of the region are derived mostly from the Upper Cretaceous Lutita bedrock. The dominant soils are the deep, dark, loamy-clay, pelic Vertisols which are the result of complex alluvial and colluvial processes. They are characterized by a high clay content and relatively low organic matter. Their transition stages are Lithosols with a more loamy texture and containing fine sand and gravel.

The regional soils are alkaline due to a high  $\text{CaCO}_3$  content and have relatively low levels of macro-nutrients, particularly Kjeldahl nitrogen and phosphate (Table 1).

Table 1:

Results of the soil analyses in the plantations with 10 native tree species from the Matorral of NE- Mexico, Linares, N.L. as means of 11 samples from 10 cm depth, in brackets data from 50 cm, 100 cm and 150 cm.

Type of analysis	Result	Annotation
pH (aqu.dest.)	8.5(8.7,8.7,9.0)	alkaline
sand	18 (23,22,24)	Vertisol-like
loam texture %	32 (39,37,42)	soil with high
clay	50 (38,41,34)	content of clay
		and
organic matter %	2.4(2.4.,1.3,0.9)	low portion of organic matter
		and
E.C.(umhos/cm)	350 - 700	no salinity
Exchangable Ions		
Mg++	0.25	good
Ca++	10.74	too dominant
K+	0.400.03,0.02,0.05)	weak
Na+	0.20	regular
P disposable(Olsen)	0.20(0.01,0.01,0.01)	deficient
N (Kjeldahl) %	0.11(0.12,0.06,0.04)	very deficient

#### MATERIAL AND METHODS

##### Species

All species used in the experiment are native to semiarid zones in Mexico and the adjacent USA, with the exception of Leucaena leucocephala (Lam.) de Wit., which has only recently migrated to the semiarid parts of Nuevo Leon from the more humid zones of the Mexican Gulf Coast. The distribution and uses of each species are shown in Table 2. Seeds were collected in the matorral in the summer and autumn of 1983.

##### Methods

Production of seedlings was carried out in the traditional way, using plastic bags, 25 x 15 cm, filled with an equal mixture of Vertisol and Litosol. Seeds were hydrated for 24 hr and then planted out, one per bag. Sufficient seedlings of nine species were obtained for the experiment. In the case of Helietta parvifolia (Gray)Bent., seedling and vegetative material collected in the matorral had to be used because a variety of standard treatments failed to stimulate germination.



Table 2: The tree species and their most important characteristics

N a m e	Distribution, remarks	Uses
(1) <i>Prosopis leavigata</i> (H.B.ex Willd.) M.C. Johnston (Mezquite), Leguminosae	NE-México, especially in mountain Matorral, adventive in Texas. See <i>Prosopis glandulosa</i> .	See <i>Prosopis glandulosa</i>
(2) <i>Acacia wrigthtii</i> Benth. (Uña de Gato) Leguminosae	Tamaulipas to Baja California, W-Texas to S-California, plain and highland Matorrals. 2-5(9) m, sometimes shrubby, trunk Ø 30 cm. (max.)	Firewood, forage to animals or lopped for fodder.
(3) <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit. (Leucaena, Guaje), Leguminosae	Native from the Mexican coastal plains (up to 500 m.) 5-8 (20) m. middle hard wood with medium natural resistance, only exceptionally good wood dimensions, sometimes shrubby (in Nuevo León as result of frost).	firewood, charcoal, small constructions, forage with high protein content (mimosine content though restricts its use to forage supplement), windbreaks, living fences, amendment of soils (N-fixing tree), fruits human food (cooked like beans).
(4) <i>Pithecellobium pallens</i> (Benth.) Standl. (Tenaza), Leguminosae	Nuevo León, Tamaulipas, SL Potosí S-Texas. Plain and highland Matorrals. 2-5 (8) m, wood hard but no good natural resistance, very deep rooting in sandy or gravelly soils particularly on slopes.	Aboveground constructions and simple furniture made of posts, good forage tree (ruminants).
(5) <i>Helietta parvifolia</i> (Gray) Benth. (Barreta), Rutaceae	Coahuila, Tamaulipas, Querétaro, Nuevo León, Texas; plain and mountain Matorral. 2-8 m small multitrunk pioneer tree mostly on calcareous (caliche block) soil, very deep rooting in cliffs, very durable wood.	Forage tree, posts, fences, constructions, firewood.
(6) <i>Acacia rigidula</i> Benth. (Gabia, Chaparro prieto). Leguminosae	Tamaulipas, Nuevo León, SL Potosí Coahuila, S-Texas, Matorral of plain and highlands. 1-6 m, often shrubby, wood of low natural resistance.	Forage tree (esp. goats), small aboveground constructions, firewood.
(7) <i>Pithecellobium flexicaule</i> (Benth.) Coulter (Ebano), Leguminosae	Tamaulipas, Nuevo León, SW-Texas, lowland Matorral tree, 3-10 (15) m, trunk Ø 50 (120) cm, heavy, hard, dark wood with very good natural resistance, delivers good dimensions.	Timber, any kind of constructions, furniture, fence posts, firewood, charcoal, shade tree for animals and men (around farms) fruits as human food (coffee substitute)
(8) <i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd. (Huizache) Leguminosae	All semiard México, S-US, Caribic Islands, Central- and S-America (dry), 1-5(9) m, often shrubby, pioneer invading pastures, wood with some natural resistance, Ø trunk 45 cm (max.).	Good forage tree (small ruminants), firewood, small constructions, sometimes used as fence posts.
(9) <i>Acacia berlandieri</i> Benth. (Huajillo) Leguminosae	NE and central México, W-Texas Plain and mountain Matorrals, 1-4.5 m, often shrubby, invading pastures, wood with low natural resistance.	Forage tree (especially goats), small aboveground constructions, evtl. firewood.
(10) <i>Prosopis glandulosa</i> Torr. (Mezquite) Leguminosae	NE-Mexican plain and Coahuila, Chihuahua, Sonora, New México, Arizona, S-Texas 5-10 (15) m, trunk 50 (80) cm Ø, good dense dark wood with high natural resistance.	Timber, all kind of construction, fence posts shade tree in pasture grounds and around farms good firewood, charcoal, fruits as human food.

Information partly from: Standley (1926), Heiseke & Foroughbakhch (1985), Wolf & Perales (1985), Foroughbakhch & Martínez (1986), Tellez (1986) and Reid et al. (1987).

The experimental design consists of four randomized blocks, each containing ten plots, 10x10m, without separation between plots and blocks, but with a matorral strip as protection around the whole experiment. Twenty-five plants per plot were planted in a 2x2m spacing in June 1984. The experimental area was cleared one month before by bulldozers. The experiment was evaluated on the basis of measurements of the following parameters: survival, height increment (m), basal diameter (cm), crown projection area (m<sup>2</sup>), and number of stems per plant. These parameters were measured every three months from July 1984 until July 1987. Analyses of variance and regressions were computed using the STATGRAPHICS program. The Duncan test was applied to the last measurements in each year.

## RESULTS AND DISCUSSION

The interactions between diverse environmental factors affect the survival and growth of every species. Thus the existence and development of the diverse plant component of the matorral needs to be understood as the result of a complex process of adaptation to the ecological conditions of the environment.

In this process, each species adapts to conditions which are fashioned by other components of the system and within time a dynamic balance is established, permitting the survival of all. When this balance is altered by anthropogenic action, each component species in the matorral may subsequently respond differently to biotic and abiotic factors. On one hand, the survival of each species may be enhanced within the matorral community, but each individual is restricted to a determined rate of individual growth and development.

The results gained from cultivating 10 tree species characteristic of the matorral in plantation over three growing seasons, reveal their natural aptitude to thrive in the area as well as their dependence on the diverse plant community.

### Survivorship

Species survivorship over the first three years is presented in Fig.1. Only four species show some degree of mortality. Different reasons are involved in each case.

*Leucaena leucocephala* suffered from frosts in the year the plantation was established. This affected both the growth and survival of the species. The 10% loss of plants is not high and the persistence of the survivors without further loss demonstrates its adaptability to the edaphic and climatic conditions. The mortality may have been accentuated by the young age of the plants and the lack of physical protection of the matorral.

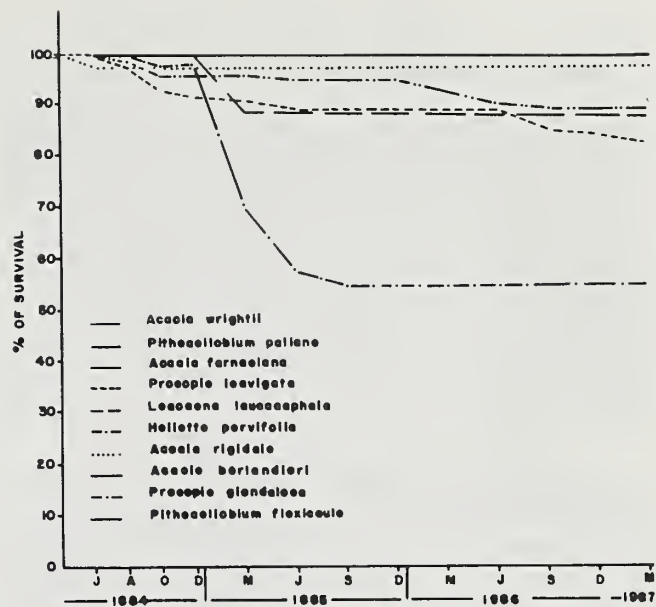


FIG.1 PERCENTAGE OF SURVIVAL OF THE SPECIES IN LINARES N.L., MEXICO

Both *Prosopis* spp show the effect of biotic factors which manifest themselves when species are grown away from the protective proximity of the other matorral components. Both *Prosopis laevigata* and *P.glandulosa* were intensively attacked by grasshoppers (*Melanoplus* sp.) in plantation, resulting in their complete defoliation from the time of establishment of the plantations. Insect grazing in successive growing seasons combined with browsing by Jack rabbits (*Lepus californicus*) have resulted in a permanent reduction in the number of mezquite plant.

*Helietta parvifolia* has shown the highest mortality, for which the most probable explanation is the origin of the plants. As the seeds would not germinate, even after various treatments (mechanical and chemical scarification, gibberelic acid, hot water etc.), it was necessary to look for seedlings and root sprouts in the matorral near the plantations. It was difficult to maintain sufficient transplanted material alive in plastic bags for two months prior to planting out, probably because the roots were damaged during transplanting. In addition frosts contributed to the mortality of the debilitated plants and did not permit satisfactory development. About 45% of plants were lost, but those surviving this critical period suffered no further mortality.

*Acacia* and related *Pithecellobium* were the most adaptable species tested, with 100% survival. The capacity for ready establishment confers to these species, especially the acacias, their aggressive pioneer characteristics in the invasion of pastures, fallow



land and disturbed natural vegetation.

#### Height Increment

The increases in height of a plant species is normally a good index of its capacity for successful development, especially in the initial establishment phase. When other factors such as spacing, competition, soil quality and climate later begin to take effect, the absolute importance of height increment diminishes and it needs to be evaluated with other criteria for monitoring growth. In the present experiment, the 10 species show surprisingly variable height increments in the first three years (Fig. 2 and 3).

Leucaena leucocephala, the only species not native to the matorral but in the process of invading at the sides of roads, fields and the edges of the natural vegetation, showed a prodigious growth potential from the moment of plantation, but also suffered height reductions in winter with the onset of the frosts. Its sensitivity to low temperatures limits its use as a forest tree. However, its rapid growth makes it ideal for silvopastoral and agroforestry purposes. Acacia farnesiana, A. wrightii and Pithecellobium pallens show good growth potential, although less than that of Leucaena leucocephala, and do not suffer reductions in height due to environmental causes.

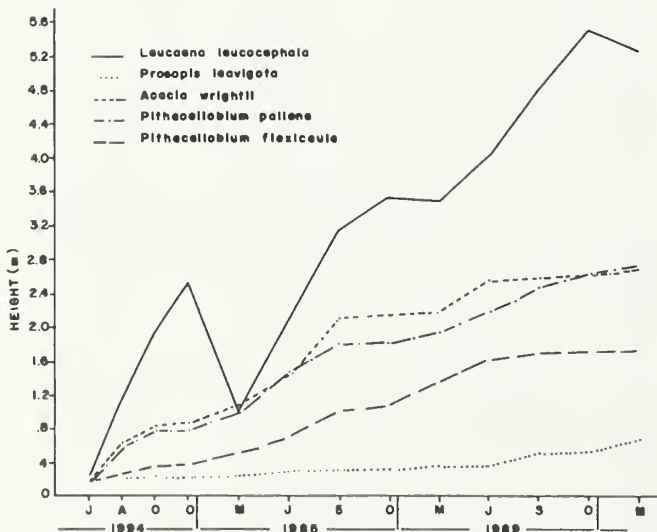


FIG. 2 GRAPHS OF HEIGHT INCREMENT FOR TEN SPECIES FROM THE MATORRAL (first group)

Acacia berlandieri, A. rigidula and Pithecellobium flexicaule have similar height increments than the aforementioned group. These species have not shown any effects of abiotic stresses.

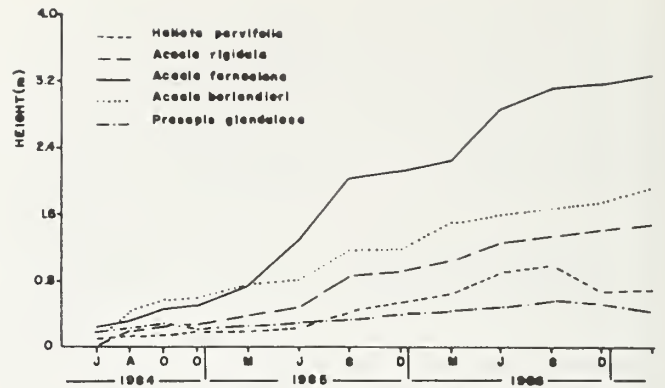


FIG. 3 GRAPHS OF HEIGHT INCREMENT FOR TEN SPECIES FROM THE MATORRAL (second group)

Prosopis laevigata, P. glandulosa, and Heliotia parvifolia constitute a special group of species. Their growth potential cannot be deduced from this experiment because of repeated grazing or establishment problems (cf. Section 4.1). When the mezquite plants were covered with a net protecting them from insects and rabbits, their growth improved although the height increments were still less than the other species. Methods for the establishment of mezquite have to be found because the species are of great importance for their multipurpose characteristics on both sides of the border (Felker 1979; NAS, 1979).

Analysis of variance showed that differences in height increment between all species were very significant. The significant difference between blocks suggests that soil conditions across the experimental area are not homogeneous, reflecting the actual situation in the matorral.

Fig. 4 permits the species to be grouped into three strata on the basis of mean height. The species groups are important for silvicultural management because species with similar growth rates are likely to be compatible in mixed plantations whereas a faster growing species is likely to dominate when species with unequal growth rates are grown together.

#### Diameter Increment

The increase in basal diameter of the species shows a similar pattern to that for height increment. Thus Leucaena leucocephala shows the largest increment in basal diameter after three years (Fig. 5). The basal diameter of Acacia wrightii increases constantly across each growing season so it ought to rapidly develop its photosynthetic surface (crown). Acacia farnesiana shows a similar pattern, as does Pithecellobium pallens to a lesser degree.

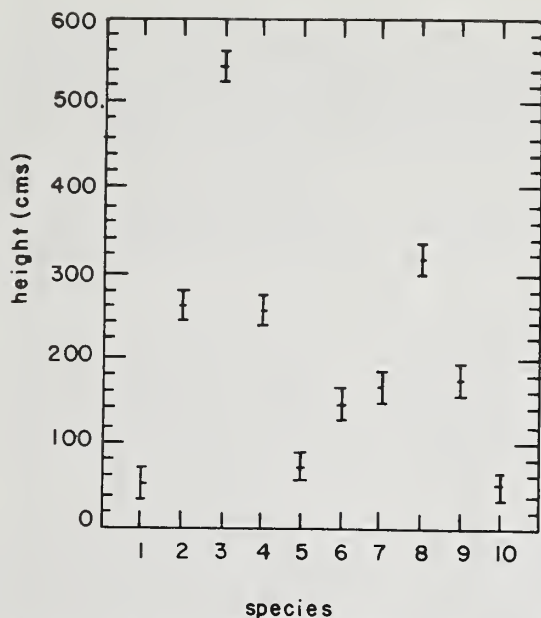


FIG. 4 Height growths of the 10 species from the trials at Linares N.L. after three years of plantation

The remaining species have smaller diameter increments in accord with their increases in height. *Helietta parvifolia* showed a negative increment in basal diameter in the third year due to the death of thick-stemmed plants after the second growing season.

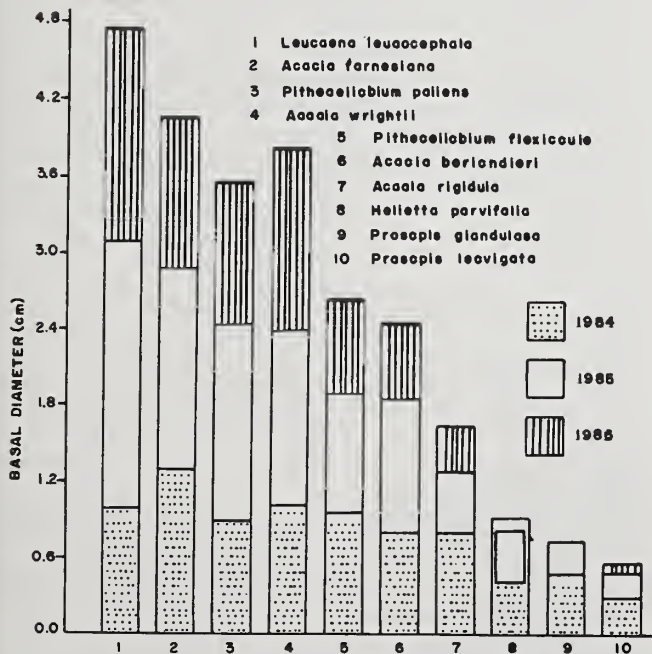


FIG 5 INCREMENT OF THE BASAL DIAMETER FOR THREE VEGETATION PERIODS

Table 3 shows the analysis of variance of basal diameter, and the mean diameter and 95% confidence limits for each species after three years of growth. Blocks show the same heterogeneity as with height increment (cf. Section 4.2). The mean basal diameters are presented in Fig. 6. *Acacia wrightii* and *A. farnesiana* have smaller diameters than *Leucaena leucocephala*. However, these three species together with *Pithecellobium pallens* have the best basal wood formation. The rapid increase in diameter of the two acacias does not correspond with their vertical growth, and suggests that their pioneering characteristics are due to their capacity for accelerated crown development.

Under normal conditions, wood production (and hence stem diameter) is a function crown size (projected foliage cover) in arborescent dicotyledons in which the lateral branches grow more quickly than the central apex. This growth habit gives rise to a broad dispersed canopy, especially in poor or dry sites (Daniel, Helms and Baker, 1979). As these acacias have a large photosynthetic surface (see below), their basal diameter increment is high.

Table 3: Analysis of variance for the basal diameter of 10 species in four blocks at the end of the third year (1986) with table of means.

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
MAIN EFFECTS	644.64911	12	53.720759	38.335	.0000
BFDOM3, especie	609.97789	9	67.775321	48.364	.0000
BFDOM3, bloque	34.67122	3	11.557074	8.247	.0000
RESIDUAL	486.26989	347	1.4013541		
TOTAL (CORR.)	1130.9190	359			

Table of means

Level	Count	Average	Std. Error (internal)	Std. Error (pooled s)	95 Percent Confidence for mean
especie					
1	36	1.1055556	.1879271	.1972980	.7174193 1.4936918
2	36	3.8861111	.2107113	.1972980	3.4979749 4.2742474
3	36	4.6861111	.2101078	.1972980	4.2979749 5.0742474
4	36	3.5527778	.1696161	.1972980	3.1646415 3.9409140
5	36	1.1555556	.3038234	.1972980	.7674193 1.5436918
6	36	1.7500000	.1435104	.1972980	1.3618637 2.1381363
7	36	2.7166667	.1543291	.1972980	2.3285304 3.1048029
8	36	4.0222222	.2208609	.1972980	3.6340860 4.4103585
9	36	2.1722222	.1718532	.1972980	1.7840860 2.5603585
10	36	.9361111	.2139631	.1972980	.5479749 1.3242474
bloque					
1	90	2.5888889	.1811011	.1247822	2.3434100 2.8343678
2	90	2.4111111	.1999591	.1247822	2.1656322 2.6565900
3	90	3.1033333	.1802562	.1247822	2.8579544 3.3488123
4	90	2.2900000	.1777235	.1247822	2.0445211 2.5354789
Total	360	2.5983333	.0623911	.0623911	2.4755939 2.7210728

#### Crown Development

Table 4 presents the analysis of variance for projected crown cover as determined from the vertical projection of two perpendicular crown diameters (Müller-Dombois and Ellenberg, 1974).

Crown growth is significantly different between species and corroborates the discussion in Section : the acacias, especially *Acacia wrightii*, quickly produce a broad crown, explaining their ability to produce a



large basal diameter. The data suggest that the acacias are better able to establish in cleared sites within their natural distribution than other components of the matorral.

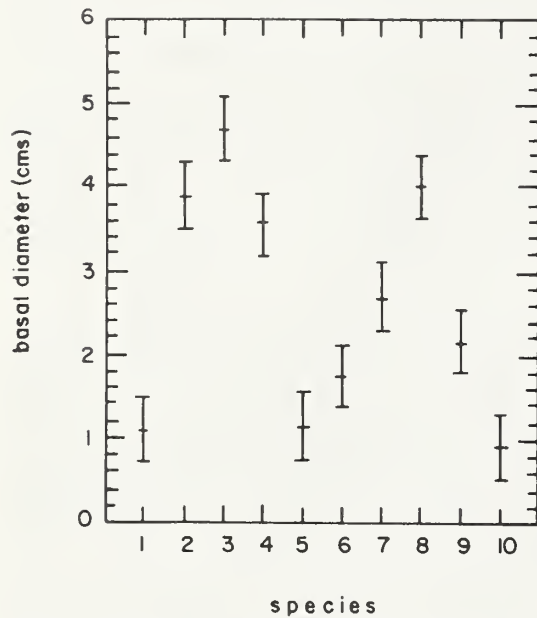


FIG 6- Distribution of the basaldiameter(cm)of the 10 species after three years of plantation at Linares

Table 4: Analysis of variance for the crown diameter of 10 species in four blocks at the end of the third year (1986) with table of means.

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
MAIN EFFECTS	729.06855	12	60.755713	53.454	.0000
BFDOM3.especie	722.25622	9	80.250691	70.606	.0000
BFDOM3.bloque	6.81233	3	2.270778	1.998	.1140
RESIDUAL	394.40041	347	1.1366006		
TOTAL (CORR.)	1123.4690	359			

Table of means

Level	Count	Average	Std. Error (internal)	Std. Error (pooled s)	95 Percent Confidence for mean
especie					
1	36	.1913889	.0500256	.1776858	-.1581650 .5409428
2	36	3.9113889	.1741310	.1776858	3.5618350 4.2609428
3	36	4.3633333	.3825126	.1776858	4.0137794 4.7128873
4	36	2.8508333	.1509417	.1776858	2.5012794 3.2003873
5	36	.2486111	.0489544	.1776858	-.1009428 .5981650
6	36	2.1177778	.1587861	.1776858	1.7682238 2.4673317
7	36	1.9630556	.1454030	.1776858	1.6135016 2.3126095
8	36	3.1025000	.1651677	.1776858	2.7529461 3.4520539
9	36	2.0411111	.1727769	.1776858	1.6915572 2.3906650
10	36	.3680556	.1030317	.1776858	-.0185016 .7176095
bloque					
1	90	2.1266667	.1880352	.1123784	1.9055893 2.3477440
2	90	1.8890000	.1675879	.1123784	1.6679227 2.1100773
3	90	2.2440000	.1731229	.1123784	2.0229227 2.4650773
4	90	2.2035556	.2144605	.1123784	1.9824782 2.4246329
Total	360	2.1158056	.0561892	.0561892	2.0052669 2.2263442

Fig. 7 Shows the projected foliage cover of each species after three years and highlights the high growth potential of *Leucaena leucocephala* in comparison with the nine species native to the matorral. The *Pithecellobium* spp demonstrate a surprising capacity for early crown expansion

similar to the acacias. This is an important consideration for silvicultural management in the matorral. Aggressive crown expansion may inhibit the growth of slow growing, valuable wood producing trees in mixed stands if species have heterogeneous growth rates.

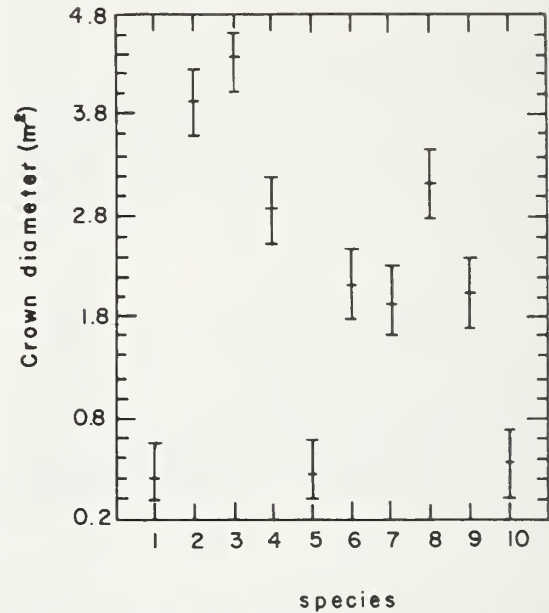


FIG 7 Crown development (m²) of the 10 species after three years of plantation at Linares N.L.

The *Prosopis* spp. and *Helietta parvifolia* show little canopy growth due to the limitations mentioned above.

The analyses of the development and environmental responses of each tree species using commonly accepted criteria such as survivorship and growth in height, diameter and projected foliage cover, suggest that each species has unique aspects of growth potential. Analysis of the relationships between variables helps to highlight these characteristics. Table 5 presents the correlations between crown and basal diameter after three years. In Table 5 two points are important:

Table 5: Correlation coefficients (a) between height and basal diameter after two and three years of the experiment and between crown diameter and basal diameter after three years (b)

Species	1985a	1986a	1986b
<i>Prosopis laevigata</i>	0.73	0.48	0.15
<i>Acacia wrightii</i>	0.67	0.29	0.53
<i>Leucaena leucocephala</i>	0.86	0.83	0.38
<i>Pithecellobium pallens</i>	0.78	0.48	0.34
<i>Helietta parvifolia</i>	0.52	0.77	0.07
<i>Acacia rigidula</i>	0.64	0.61	0.62
<i>Pithecellobium flexicaule</i>	0.56	0.43	0.31
<i>Acacia farnesiana</i>	0.75	0.53	0.59
<i>Acacia berlandieri</i>	0.83	0.48	0.51
<i>Prosopis glandulosa</i>	0.83	0.84	0.30

a) Leucaena leucocephala shows a high correlation between height and basal diameter for both growth periods, confirming its great potential for growth and biomass production observed both in the field and elsewhere (CATIE, 1986). However, the correlation between projected crown cover and basal diameter is low. The crown is not small but vertically long and slender, presenting a different type of crown than most of the tree species in the matorral.

b) The high correlation between height and basal diameter for the Acacia spp in the second year disappears completely in the following year. This is the result of their sudden growth in basal diameter, correlated with rapid crown expansion.

These correlations corroborate the conclusions of earlier sections but need to be confirmed after a longer observation period of the least one third of a regular rotation.

The growth of the ten species in plantation is very different from the growth rates of matorral species in the natural community. Heiseke and Foroughbakhch (1985) obtained a mean annual diameter increment (at breast height) of 0.2-0.4 cm/year and a height increment of 13-24 cm/year for woody species in matorral close to the plantations. The data are the means for approximately 30 species, including most of those grown in plantation. Although not directly comparable with the growth rates reported in this paper, the data suggest very slow growth rates for species growing under conditions of interspecific competition in the natural community and emphasize the high yield of many native matorral species in managed plantations.

The high biomass production of most of the species in plantation is not only relevant to the production of browse for cattle (Tellez, 1986, Reid et al., 1987) but also for timber (posts) and fuelwood production. In Table 6, the usable wood volume of three species is estimated after three years growth. These data indicate a much higher wood production in plantation than in the natural community (cf. Heiseke and Foroughbakhch, 1985).

Table 6: Volume (V) production in m<sup>3</sup> of utilizable wood for three species from the Matorral in plantations near Linares, N.L.

Species	No stems/ha	V/ha
<u>Leucaena leucocephala</u>	7150	16.2
<u>Pithecellobium pallens</u>	5550	3.8
<u>Acacia farnesiana</u>	9025	11.5

after  $V = \pi (BD + BRD/4)^2 XH$  (BD) at 10 cm  
H = 120 cm (BRD) at 130 cm

## CONCLUSIONS

More than three years experience in growing 10 native species in plantation in the Linares region, Nuevo León, shows the following:

a) As expected, all species are well suited to the edaphic and climatic conditions of the region, but establishment in an unprotected, cleared site was variable due to biotic factors such as insect grazing, and quality and type of the propagative material.

b) Leucaena leucocephala shows the highest yields and constitutes an important multipurpose tree species for the region.

c) The Acacia spp show characteristics of woody pioneer species and a strong capacity for precocious canopy expansion. Pithecellobium pallens and to a lesser degree, P. flexicaule, behave similarly. The latter two species are exploited for multiple purpose in the matorral and should be considered for future planting.

d) The establishment problems, vegetative and sexual reproductive potential, and allelopathic character of Helietta parvifolia require detailed study because the species is an important timber resource in the matorral, providing the rural community with hard, durable posts for fences and construction.

e) The two Prosopis spp. showed limited growth in plantation because they were attacked by insects and lagomorphs. This situation needs to be born in mind in future plans for the silvicultural management of the matorral.

f) All species not affected by biotic stresses showed good growth in plantation and a high potential for incorporation in plans for the diversified silvicultural management of matorral areas.

## SUMMARY

Then native tree species with multipurpose characteristics from the Matorral (low dry forest) region of the Coastal Plain of NE-Mexico were planted in monoculture in randomized plots in four blocks. For three years continual measuring of different growth parameters was conducted and the resulting data were evaluated.

Leucaena leucocephala performed best, while the two Prosopis sp. and Helietta parvifolia, the only non Leguminosae, could not be established well due to biotic problems which arose under plantation conditions. Very well developed the three less desired Acacia sp., and the two Pithecellobium sp., Ebano and Tenaza still showed



good results which is of great interest since their integrated multipurpose aptitudes are the best of all tested species. They could be of great importance to rehabilitate badly degraded Matorral before it enter to an irreversible stage of destruction.

#### ACKNOWLEDGEMENT

We are indebted to Dr. Nick Reid for help with the translation.

#### LITERATURE

- CATIE, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 1986. Silvicultura de especies promisorios para producción de leña en América Central. Turrialba, Costa Rica. 219p.
- Daniels, P.W., Helms, U.E. Baker, F.S., 1979: Principles of Silviculture, 2.ed., McGraw-Hill Book Co., USA.
- Felker, P., 1979: Mezquite, an all-purpose leguminous arid-land tree. In: G.A. Ritchie (Ed.), New Agricultural Crops. Amer. Assoc. Advance.Sci., Selected Symp. 38 Westview, Boulder, CO, pp. 89-132.
- Foroughbakhch, R., Martínez, A., 1986: Estudio sobre diferentes tipos de agostaderos y la producción caprina en la región de Linares y Hualahuises Nuevo León, México. Shcr. Forst. Fak. Univ. Göttingen, Germany FR, Vol. 84, pp. 154 - 183.
- Foroughbakhch, R., Peñaloza, R., 1987: Introducción de 10 especies forestales en el Matorral del Noreste de México Rep. Cientific. 8, Fac. Silvicult. Man. Rec. Ren., Univ. Aut. Nuevo León, Linares N.L., México (in press).
- Foroughbakhch, R., Peñaloza, R., Stienen, H., 1987. The survival and growth of *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud and other introduced species in the Matorral of northeastern Mexico. NFTA Res Rep., spec. Vol., Int. Workshop "Gliricidia sepium: Management and improvement" CATIE, Costa Rica, in press (Sept).
- González Espinosa, M., 1984: Sucesión secundaria en zonas áridas y semi-áridas. Colegio de Postgraduados. Centro Regional para Estudios de Zonas Áridas y Semi-áridas. San Luis Potosí, México, Thesis.
- Heiseke, D., Foroughbakhch, R., 1985: El Matorral como recursos forestal. Rep. Cient. 1, Fac. Silvicult. Manejo Rec. Renov., Univ. Autónoma de Nuevo León, Linares, N.L., México pp. 1-31.

- Müller-Dombois, D., Ellenberg, H., 1974: Aims and methods of vegetation ecology. John Wiley and Sons Publ., New York
- NAS, National Academy of Science, 1979: Tropical Legumes: Resource for Future. Washington D.C. 153-163, pp. 278-284.
- Reid, N., Marroquín, J., Beyer-Münzel, P., 1987: Intensidad del ramoneo en el Matorral Tamaulipeco del Noreste de México. Paper at Congr. of Soc. Mex. Man. Pastizales, Durango, SOMMAP 87, abstract in "Resúmenes", pp. 42.
- Rojas-Mendoza, P., 1965. Generalidades sobre la vegetación del Edo. de Nuevo León y datos acerca de su flora. PhD thesis, Fac. Cienc. Biol., Univ. Aut. Mex (UNAM), Mexico.
- Rzedowski, J., 1978: Vegetación de México. Ed. Limusa, México, pp. 237-261.
- SPP (Secretaría de Programación y Presupuestos, México), 1981: Síntesis geográfica del Edo. de Nuevo León. México, pp. 237-261.
- Synnott, T., 1986: Los efectos de las heladas de 1983 sobre las plantas de la región de Linares, N.L., Rep. Cientif. 5, Fac. Silvicult. Man. Rec. Ren., Univ. Aut. Nuevo León. México, pp. 1-13.
- Standley, P.C., 1926: Trees and shrubs of Mexico, Washington Governm. Print Office 1721 p.
- Stienen, H., 1984: Die Pflanzendecke des chilenischen Winterregengebietes. Nat. u. Mus. Vol. 114, pp. 313-321.
- Stienen, H., 1985: Prosopis tamarugo in the Chilean Atacama: ecophysiological and reforestation aspects. In: G.E. Wickens et al. (Eds.), Plants for arid lands. George Allen & Unwin Publ., London, pp. 103-116.
- Tellez, R., 1986: Nutzung der nordostmexikanischen Strauchsteppe (Matorral) durch Ziegen. Thesis, Fac. Agr. Sci. Univ. Giessen, Germany FR, 110p.
- Wolf, F., Perales, F. 1985: Durabilidad natural de la madera de algunas especies del Matorral del Noreste de México. Rep. Cient. 3, Fac. Silvicult. Man. Rec. Renov., Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares, N.L., México pp. 1-15.

# MANEJO Y COMERCIALIZACION DE LA LECHUGILLA EN ZONAS ARIDAS DE TAMAULIPAS<sup>1</sup>

Luis Hernández Sandoval y Jorge Jiménez Pérez<sup>2</sup>

Resumen.--La lechuguilla es un recurso sobreexplotado en Tamaulipas, por lo que se plantea un manejo de acuerdo al conocimiento tradicional y a la tecnología moderna para mejorar la calidad de la fibra, así como comercializar los productos transformados del ixtle y con esto aumentar los ingresos de los campesinos.

## INTRODUCCION

En Tamaulipas, la zona árida se encuentra en la porción suroeste, formando parte de la provincia biótica del Desierto Chihuahuense. A pesar de las condiciones ecológicas tan extremas, estas zonas presentan una riqueza florística con grandes posibilidades de aprovechamiento. En México existe una gran tradición en el uso de fibras duras o ixtles para jarciería, cestería y cordelería, destacando en el norte la lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) por su calidad, utilidad y abundancia.

En la región ixtlera, y en particular para Tamaulipas, la explotación de este recurso se ha llevado en forma silvestre al parecer desde la época prehispánica. Sin embargo, su aprovechamiento no ha tenido una planeación adecuada y en algunos lugares se ha sobreexplotado, llegando a graves daños de erosión genética, mientras que en otros, la recolección y talla del ixtle se ha abandonado, sustituyéndola por actividades económicas más remunerativas o por la migración a diversas ciudades o al extranjero. Esto ha causado problemas tanto ecológicos como socioeconómicos, por lo que la Universidad Autónoma de Tamaulipas y la Agencia Internacional para el Desarrollo han planteado un proyecto sobre manejo y comercialización de lechuguilla en un área pequeña, donde, si se obtienen resultados positivos, se desarrollará un programa regional.

<sup>1</sup> Este trabajo fue presentado en la reunión Estrategias de clasificación y manejo de vegetación silvestre para la producción de alimentos en zonas áridas. 12 - 16 de octubre de 1987.

<sup>2</sup> Investigadores del Instituto de Ecología y Alimentos de la Universidad Autónoma de Tamaulipas. Cd. Victoria, Tamps. México.

## ANTECEDENTES

### Descripción.

La lechuguilla es una planta en forma de roseta de color verde amarillento, de 25 a 30 cm de alto; con el sistema radicular superficial y una corta raíz principal; hojas falcadas o curvadas de 30 a 35 cm de largo y de 2 a 3 cm de ancho; los márgenes son desprendibles y tienen de 8 a 12 dientes doblados hacia abajo. La inflorescencia (quiote) es una panícula de 2 a 3 m de alto, con las flores agrupadas de 1 a 3 en la parte superior, de 2 a 4 cm de largo con pétalos lineares amarillos y frecuentemente manchados con rojo o púrpura; cápsulas oblongas a piriformes de 18 a 25 por 11 a 18 mm; semillas de 4.5 a 6 por 3.5 a 4.5 mm. (Gentry 1982, Nieto-Pola 1983).

### Reproducción

La reproducción de la lechuguilla es casi enteramente asexual, observándose en la producción rizomatosa de brotes o "hijuelos". Este fenómeno tiene estrecha relación con el tipo de manejo que se le da a la planta, evitando la producción de flores y frutos.

Con respecto a la reproducción sexual, Freeman y Reid (1985), citan que la lechuguilla florece en la mayoría de los años entre mayo y junio, y retardándose en los periodos de invierno o épocas de lluvia muy secos. La floración está relacionada con el número de hojas por roseta, es decir que se presenta en los aquellos individuos con un rango entre 42 y 69 hojas, asumiendo que esto corresponde a una edad aproximada de 20 años a la fecha de floración. Por otro lado, existe una alta producción de semillas viables por planta, encontrando que no tienen requerimientos para romper la latencia y germinando rápidamente cuando hay humedad suficiente.



## Ecología

La lechuguilla es uno de las especies más representativas del Desierto Chihuahuense. Marroquín (1964), menciona que la lechuguilla se encuentra en los matorrales micrófilos o de "gobernadora" y principalmente en los rosetófilos, asociada con especies de los géneros Larrea, Dasyllirion, Acacia, Flourenxia etc., sobre las sierras consuelos de origen calizo, llegando a ocupar las partes planas, siempre y cuando presenten buenas condiciones de drenaje, es decir, en suelos pedregosos. Llega a soportar temperaturas extremas, características de los climas áridos y semiáridos, con precipitaciones pluviales de 200 a 500 mm. Sus límites altitudinales son de 950 a 2350 msnm. (Nieto-Pola, op. cit.)

## Evolución y Taxonomía

Dentro de la familia Agavaceae, el género Agave tiene estrechas relaciones con los géneros tropicales de Centro y Sudamérica, sin embargo, al parecer su origen y diversificación se da en el centro y norte de México, como componente de la flora Madroterciaria (Gómez-Pompa 1963). La lechuguilla pertenece al grupo Marginatae del subgénero Littaea; Gentry (op. cit.) observa que dentro del grupo Marginatae, que se distribuye desde el sur de México hasta el norte de la Sierra Madre Oriental, existe un complejo de especies relacionadas con la lechuguilla. Este está formado por A. lophantha Schiede, A. funkiana Koch & Bouché, A. xylonacantha Salm., y A. lechuguilla Torr. en el cual se dan procesos de flujo genético e hibridización. Por otro lado, se han reportado estrechas relaciones entre la lechuguilla y otras especies afines, observando estos procesos y fenómenos en la zona de estudio.

## OBJETIVOS Y METAS

Los objetivos contemplados son: manejar el recurso con fines de conservación y mejoras en la calidad de sus fibras o "ixtle" para aumentar los ingresos de los campesinos. Las metas a corto plazo son: a) realizar una exploración etnobotánica; b) definir el área de estudio; c) formar una unidad de propagación; d) desarrollar técnicas de manejo y selección de materiales; e) capacitar a los campesinos; f) realizar estudios de mercado y comercialización. A mediano y largo plazo se plantea la obtención y selección de materiales para

la formación de un banco de germoplasma con fines de fitomejoramiento; realizar actividades de reforestación; formación de agroindustrias para la transformación de productos de ixtle; comercialización del producto y extensión de las actividades a nivel regional.

## AVANCES Y RESULTADOS

En Tamaulipas la explotación de lechuguilla se realiza en los municipios de Jaumave, Miquihuana, Tula, Bustamante, Palmillas, Burgos, San Nicolás, San Carlos y Cruillas, sin embargo, en los tres primeros se da la mayor producción. El área de estudio seleccionada fue el ejido la Reforma, en el municipio de Jaumave, el cual se encuentra a 40 km al SW de Cd. Victoria y a una altitud de 900 m.s.n.m., formando parte de la cuenca del río Chihue y con vegetación de matorral alto subinerme, matorrales rosetófilos y espinosos sobre suelos de origen calizo.

## Exploración etnobotánica

Se tienen registros arqueológicos (Callen, 1965) del uso de las fibras por el hombre desde 7000 años A.de C. Este autor señala que se debe haber descubierto el uso de las fibras al momento que empezó a utilizar los agaves como alimento. González y Scheffey (1964) mencionan que es conocido el uso del ixtle en la época precolonial por los escasos pobladores del norte de México. Igualmente, se tienen registros de uso en las ciudades mesoamericanas, además de contar con el nombre náhuatl para la lechuguilla "metometl" y la palabra "ixtle" para designar la fibra (Gentry, op. cit.). Dentro de la exploración etnobotánica de este proyecto se registraron los nombres de los tipos de lechuguilla que reconocen los "tallanderos" o "ixtleros", como se designan en esta zona a los que tallan lechuguilla. Estos nombres coinciden en su mayoría con los que describe el Ing. Montemayor a principios de siglo (Gómez Garza, 1908). En nuestros datos de campo obtuvimos la siguiente información de los tallanderos: reconocen la lechuguilla "ceniza" (que corresponde seguramente a la verde azulosa de Montemayor), la "verde", la "amarilla", la "prieta" y la "gato" (es decir con vetas amarillo y verde). Sin embargo, los términos "reventona" o "mala" se asocian a cualquiera de los nombres anteriores si consideran que la fibra es de mala calidad, comprobándolo al doblar una hoja y observar el tipo de fisura en la epidermis, ya que si se marca en forma de cruz, no la consideran "buena". Mencionan además que la de Jaumave es más blanca que

la del resto del estado. Por otro lado utilizan para obtener fibras más suaves al "mesotillo" (*A. lophantha*) y la "jarcia" (*A. funkiana*), que según algunos autores produce el "ixtle de Jaumave". Al parecer, la hibridación que existe entre las dos especies anteriores y *A. lechuguilla* forman el complejo de especies citado por Gentry (op. cit) y dan como resultado esta gran variedad de nombres y tipos de fibras.

La forma de colectar la lechuguilla en esta zona es, desprender el cogollo con una garrocha de madera y una argolla metálica en un extremo, depositándolos en un cesto llamado "oaxaca". Este cesto es construido con madera de una especie no identificada que ellos llaman "membrillo" que se tuesta y dobla formando los arcos, para después tejerla con cordel de ixtle. Cuando se reúne la cantidad de cogollos suficientes para la jornada, se procede a tallarla. Para esto utilizan como base un trozo de madera de aproximadamente 35 cm de largo por 10 de ancho y 4 de espesor de "soyate" (*Nolina nelsonii*), llamado "banco", raspándose con un instrumento de metal de filo romo o "tallador" con un mango de "barreta china" (*Fraxinus greggii*) y un gancho en el extremo para fijarlo a un poste, permitiendo el movimiento sobre su eje, después, atora con su mano izquierda un manojo de hojas de lechuguilla con ayuda de un trozo de madera denominado "bolillo" y, presionando las hojas contra el banco con el tallador, obtiene la fibra. Después la tiende al sol para su secado y la acumula para su venta (figura 1).

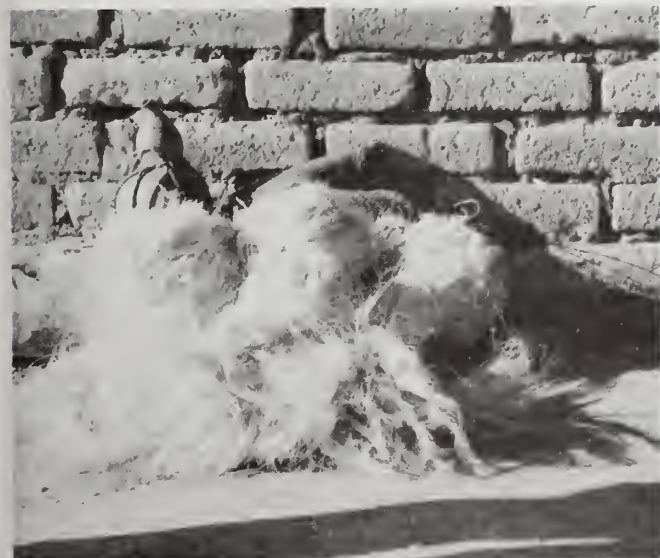


Figura 1. Lechuguilla seca para venta

Marroquín (op. cit.) señala dos métodos diferentes de tallado para Coahuila, uno que es cortando la planta, tallando la parte externa de la roseta, y el otro, con la planta en pie, jalando la fibra con unas tenazas.

La utilización de la fibra a nivel local es para la fabricación de cordelería, escobetas, cepillos, peines y varios artículos tejidos. Otros usos muy extendidos son el de la raíz o "amole" como jabón; las flores son comestibles y las preparan de diferentes maneras; el escapeo o "quiote" se utiliza como soporte para techar casas y cuando tiernos, los niños los consumen como caña de azúcar; de la roseta deshojada o "piña" obtienen el "mezcal de lechuguilla".

#### Manejo

El manejo tradicional que le dan los campesinos a la lechuguilla se realiza, como se mencionó anteriormente, por medio de la corta de los cogollos de aquellos individuos considerados como poseedores de fibra de buena calidad. Cuando esta acción se realiza por primera vez se le denomina "capar" la lechuguilla. La frecuencia de recolección por individuo, varía según la zona, de seis meses a dos años, considerando este último periodo como el más adecuado. En los casos en que se requiera la explotación de manchones de lechuguilla de mala calidad, se dice que si se "capa", a los dos años comenzará a producir mejor ixtle.

Los datos de producción y rendimientos para Tamaulipas están dispersos y varían según los autores, por lo que se presentan datos de producción en los años de 1970 y 1975 en la tabla 1 (Menchaca 1978).

Tabla 1. Producción de ixtle y su valor en Tamaulipas. (En miles).

Municipio	1970		1975	
	cant. Kg	valor \$	cant. Kg	valor \$
Jaumave	700	2 660	600	4 200
Miquihuana	250	950	200	1 400
Tula	300	1 140	600	4 200
Total	1 250	4 750	1 400	9 800



Observando que la producción ha aumentado levemente, quizá debido más a problemas socioeconómicos que al tipo de manejo. Con el fin de aumentar la producción, se han utilizado máquinas desfibradoras desde principios de siglo, pero la mecanización de la lechuguilla no ha prosperado por las siguientes causas: 1) bajo contenido y poca uniformidad de fibra en las hojas, que hace incosteable el transporte de la materia prima; 2) la poca uniformidad de los cogollos; 3) se acelera el agotamiento del recurso; 4) disminuye la mano de obra, aumentando el desempleo. Sin embargo, a medida que se vayan resolviendo estos problemas, la mecanización será posible y aceptada por los campesinos de la región, aumentando la producción de fibra.

Con respecto a los rendimientos por unidad de área, encontramos datos poco uniformes, así, Martínez (1936) registra un máximo de 30 000 plantas/Ha. Valero (1949) reporta 11 000 plantas/Ha y, finalmente Zapién (1980), encuentra 23 200/Ha. Esta información en Tamaulipas se está captando por el personal del Instituto de Investigaciones Alimentarias-UAT y los técnicos de la SARH, delegación Tamaulipas.

Para el manejo de la lechuguilla en la zona de trabajo, se construyó un vivero de media hectárea para los ensayos de propagación y fitomejoramiento, el cual está cercado con especies vegetales útiles a la comunidad, tales como pitayos (*Stenocereus griseus*) y garambullos (*Myrtillocactus geometrizans*). Se implementó una unidad de propagación y producción de planta por semilla, iniciando a la fecha colecciones para banco de germoplasma y poder realizar pruebas comparativas de germinación; y otra unidad en áreas abiertas, para pruebas de reforestación en zonas susceptibles de erosión y desmontadas. El material utilizado ha sido el recomendado por los campesinos, siguiendo su origen a partir de individuos con fibras de alta calidad. En esta se sembraron 500 plántulas con tamaños entre 10 y 20 cm. y de 5 a 8 hojas, marcando sus líneas parentales, su lugar de procedencia y tipo de lechuguilla (trabajando al momento con la "ceniza", "prieta", "gato" y la "amarilla"). A partir de esto se ha iniciado un muestreo de crecimiento por mes (figura 2).

Para estas actividades se está capacitando a dos campesinos, encargados a la vez del vivero.



Figura 2. Lechuguilla sembrada en el área de experimentación.

#### Comercialización

El registro más antiguo que se tiene, ya como explotación de la lechuguilla, data del año de 1741 (Marroquín op. cit.). realizándose por pequeños propietarios y campesinos al servicio de hacendados. durante la colonia y principios del México Independiente; como producto secundario se trabajó hasta principios de este siglo en que tuvo alta demanda. De esas fechas a la actualidad ha existido una enorme fluctuación en precios y demanda, principalmente por las guerras y la competencia con las fibras sintéticas. Con el propósito de organizar la producción y comercialización de la lechuguilla, en 1932, los Generales Saturnino Cedillo y Francisco Carrera Torres fundaron en Tamaulipas la Nacional Ixtlera (Martínez, 1972). Hacia 1940 El Gral. Lázaro Cárdenas decreta la creación de la Forestal F.C.L. (Federación de Cooperativas Limitadas), liquidando a las organizaciones anteriores. Los objetivos de esta empresa paraestatal son: el comprar toda la lechuguilla tallada por los campesinos, pagándoles un anticipo, para después del balance anual, remunerar los sobrantes de la comercialización. Sin embargo, los datos socioeconómicos que se presentan a continuación nos muestran una realidad muy difícil de cambiar:

Del total de la población de la zona ixtlera del país según Caire (1985), en 41 municipios, encontró que del 51% de hombres, el 22% eran económicamente activos, y del 49% de mujeres, el 3.89%; un talladero puede producir un promedio de

4 a 5 kilos diarios de fibra seca, que se vende a 450 pesos por kilo en la actualidad, por lo que obtiene, en el mejor de los casos, 2250 pesos, cuando el salario mínimo es de 6150.

Con respecto a la comercialización de la fibra, se está promoviendo una campaña de producción de artesanías de ixtle, tales como oaxacas, cunas, portamacetas, bolsas, adornos, etc. en coordinación con el programa de crédito a la mujer campesina del Banco Rural, Fonart y la Unión de Artesanos de la Cd. de Tula, Tamps., para la evaluación de costos, capacitación y distribución de los productos en los mercados regionales y nacionales.

#### BIBLIOGRAFIA

Caire, R.E. 1985. El ixtle: problemática socioeconómica. in Cruz, ed. BIOLOGIA Y APROVECHAMIENTO INTEGRAL DEL HENEQUEN Y OTROS AGAVES. Centro de Investigación Científica de Yucatán. México. p.p. 279-290.

Callen, E.O. 1965. Food habitat of some precolombian Mexican Indians. ECONOMIC BOTANY 19:335-430.

Freeman, C.E. & W.H. Reid. 1985). Aspects of the reproductive Biology of Agave lechuguilla Torr. DESERT PLANTS 7(2): 75-80

Galván, J.M. ed. 1983. RECURSOS AGRICOLAS DE ZONAS ARIDAS Y SEMIARIDAS DE MEXICO. Colegio de Postgraduados. México. 158 p.

García, A. et. al. 1985. La producción mundial de fibras duras. in Cruz, C. ed. BIOLOGIA Y APROVECHAMIENTO INTEGRAL DEL HENEQUEN Y OTROS AGAVES. Centro de Investigación Científica de Yucatán. México. p.p. 240-260.

Gentry, H.W. 1982. AGAVES OF CONTINENTAL NORTH AMERICA. The University of Arizona Press. U.S.A. 670 p.

Gomez G. E. 1908. La lechuguilla Mex. EST. AGRIC. EXP. Cd. Juárez, Chih. Imprenta y Fotocopia de la Secretaria de Fomento, Sep. Boletín H. Folleto 5,805.

Gomez Pompa, A. 1963. El Género Agave. CACTACEAS Y SUCULENTAS MEXICANAS. Tomo VIII (1):3-25.

González, A. y A. Scheffey. 1964. Los recursos espontáneos y su economía. LAS ZONAS ARIDAS DEL CENTRO Y NORESTE DE MEXICO Y EL APROVECHAMIENTO DE SUS RECURSOS. INMRNR. México. 182 p.

Grove R.A. 1941. Morphological study of Agave lechuguilla. BOTANICAL GAZETTE. vol.103:354-365.

Lobato V. G. 1901. Pita de maguey en grandes y pequeños cultivos de Mexico. Mex. S.E. p.p. 548-568.

Marroquín J. S. et. al. 1981. Estudio Ecologico Dasonómico de las Zonas Aridas del Norte de Mexico. INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES. Mex. 166 p.

Martínez M. 1936. Plantas Útiles de México. Ediciones Botas

Martínez S. M. 1972. TAMAULIPAS Y SU REGION IXTLERA. Tesis Esc. Nal. de Econ. UNAM. México. 172 p.

Menchaca Mier M. et al. 1978. Zona ixtlera candelillera de Tamaulipas. Programa integrado 6. COPLAMAR. México. p.p. 58-63.

Nieto Pola C. 1983. La Lechuguilla. INIREB informa. Comunicado 63. Xalapa, Ver. 4 p.

Reyes R. 1981. La Lechuguilla (Agave lechuguilla) Como un importante factor en la formación de suelo en las zonas aridas. MEMORIA DE LA 1a. REUNION SOBRE ECOLOGIA, MANEJO Y DOMESTICACION DE LAS PLANTAS UTILES DEL DESIERTO. INIF. México. p.p. 390-396.

Rzdowski J. 1964. Botánica Económica. LAS ZONAS ARIDAS DEL CENTRO Y NORESTE DE MEXICO Y EL APROVECHAMIENTO DE SUS RECURSOS. INMRNR. México. 182 p.

Valero Martínez H. 1946. El Agave Lechuguilla su aprovechamiento e industrialización. Tesis. Chapingo Mex. 30 p.

Zapién M. 1981. Evaluación de la producción de ixtle de lechuguilla en 4 sitios diferentes. MEMORIA DE LA 1a. REUNION SOBRE ECOLOGIA, MANEJO Y DOMESTICACION DE LAS PLANTAS UTILES DEL DESIERTO. INIF. México. p.p. 385-389.



245

# Revised Universal Soil Loss Equation for Western Rangelands<sup>1</sup>

M. A. Weltz, K. G. Renard, and J. R. Simanton<sup>2</sup>

**Abstract.**--The Universal Soil Loss Equation has been revised to accommodate field conditions found throughout the western United States. The revision uses a subfactor approach to evaluate the "C" factor and additional algorithms to describe the "LS" and "P" factors. The revised "C" factor is now the product of subfactors: PLU (prior land use), CC (vegetation canopy cover), SC (surface ground cover), and SR (surface roughness). Included in these subfactors are conditions for vegetation canopy height and root biomass. Algorithms for "LS" consider non-linear interactions between slope steepness and length. The algorithms for "P" are based on surface roughness, slope steepness, and runoff reduction.

A procedure is presented for estimating, from above ground biomass, the root biomass in the upper 100 mm of the soil profile of various rangeland vegetation types. A sensitivity analysis of the root biomass input to the subfactors PLU and SR is presented to illustrate the importance of root biomass to erosion from rangelands.

Rangeland soil loss estimates are made from a wide range of assumed factor values using the old and revised USLE. Also, each equation is used to estimate soil loss and the results are compared to actual soil loss measurements from simulated rainfall plots.

## INTRODUCTION

Surface soils of much of the western rangeland areas of the U.S. have been badly eroded. From the viewpoint of a soil morphologist, such soils are only partly weathered parent geologic material. Climatic and agronomic conditions which might lead to soil formation like that encountered in cultivated agricultural areas are unfavorable or at best, soil building occurs at a reduced rate. When unprotected, the most fertile A-horizon is rapidly removed by erosion under the sparse vegetation found on such deteriorated

areas. Thus, preservation of rangeland soil resources is a high priority need to the conservationist/environmentalist and, from the viewpoint of the rancher trying to maximize forage production, soil protection is critical if plants are to have a sufficient nutrient and soil moisture reservoir for growth.

The severity of rangeland erosion problems has been illustrated with published work from Langbein and Schumm (1958) and Marshall (1973). Figure 1 illustrates in a conceptual way the water and wind erosion problem as a function of annual precipitation.

Sediment yield and erosion are closely related phenomenon although yield reflects the transport efficiency of not only the upland erosion processes but also that occurring in the channels of a watershed. Sediment yield also includes deposition of eroded materials in natural and man-made features such as terraces and ponds/reservoirs. Curve A shows that, under natural vegetation cover, water erosion increases from the origin to a peak at 400 mm annual rainfall, such as that in semiarid conditions. Near

<sup>1</sup>Paper presented at the U.S.A./Mexico Symposium on Strategies for Classification and Management of Native Vegetation for Food Production in Arid Zones. [Tucson, Arizona, October 12-16, 1987.], Aridland Watershed Management Research Unit, [USDA-Agricultural Research Service, 2000 E. Allen Road, Tucson, AZ] 85719.

<sup>2</sup>The authors are Hydrologist, Hydraulic Engineer and Hydrologist respectively.

the peak (approximately at the transition between brush and grasslands) the precipitation is insufficient to maintain a complete year long vegetation cover but does produce sufficient energy and rainfall excess to erode bare soils. With increasing precipitation, the natural vegetation cover increases (less bare soil would be expected) and water erosion decreases. Curve B indicates expected erosion under bare soil conditions. Comparison of curves A and B illustrates conceptually the difficulty of controlling water erosion in the arid and semiarid end of the precipitation spectrum, a phenomenon not extending into the more humid spectrum.

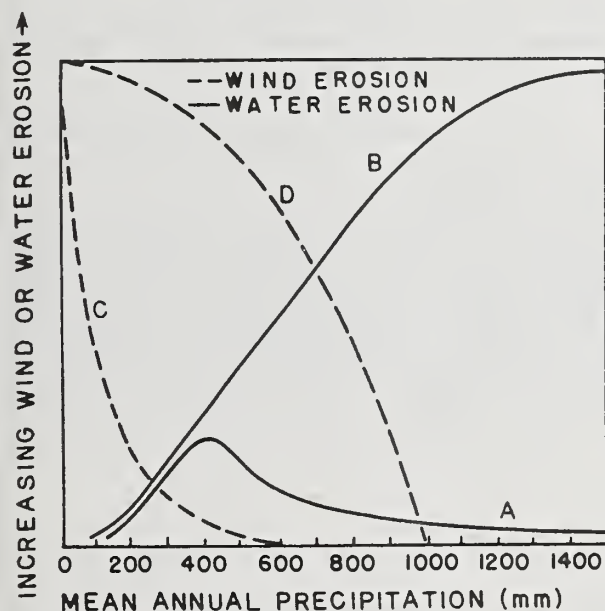


Figure 1. Relationships of water erosion (continuous lines) and wind erosion (broken lines) with increasing mean annual precipitation. The curves for water erosion indicate the relationships with mean annual precipitation for (A) areas of natural vegetation cover and (B) bare ground. The curves for wind erosion indicate the relationships with mean annual precipitation for (C) areas of natural vegetation cover and (D) bare ground. These curves are based on what would be expected from the relationship of wind erosion to vegetation cover and to moist soil (from Marshall 1973).

The schematic curves for wind erosion, curves C and D, differ appreciably from those for water erosion. Curve C depicts a rapid decrease in the normal wind erosion with increasing precipitation because the presence of even a moderately sparse vegetation cover would be expected to reduce the wind erosion shear at the ground surface. With the absence of vegetation (curve D), wind erosion would be expected to remain high until the precipitation increases sufficiently to keep the soil surface moist most of the time. The shape of curve D depends upon the amount of precipitation and its distribution and the curve would be expected to drop most

steeply for a uniform distribution or a distribution where the moist soil coincides with periods of greatest wind. In contrast with water erosion, the greatest potential reduction of wind erosion (contrasting curves C and D) occurs in the drier precipitation areas.

In this paper, we intend to (1) present a proposed revised form for the Universal Soil Loss Equation (USLE, Wischmeier and Smith, 1978); (2) illustrate how the revised form agrees with observed data in southeastern Arizona; and (3) illustrate with sensitivity analysis, the magnitude of erosion estimates by sequentially varying values of parameter terms in the subfactor approach for estimating the cover-management term.

#### REVISED USLE

Technology to assess erosion from rangelands is not as widely available as for cultivated agriculture. The technology generally involves the use of the USLE which was developed for more humid areas and then extrapolated to rangeland conditions. Developed from extensive field experiments, the USLE involves six terms, the product of which furnishes an estimate of the average annual erosion from a field area. The expression is

$$A = R * K * L * S * C * P \quad (1)$$

where A = computed soil loss per unit area; R = a rainfall and runoff factor; K = soil erodibility factor; L & S = topographic terms representing slope length and steepness; C = cover-management factor; and P = support practice factor.

Unfortunately, this technology was developed from experiments performed on cultivated areas; although the technology has been extended to most other land use conditions (Renard and Foster, 1985). In the current revision of the USLE, perhaps the most significant change occurs in the method used to determine a value of the cover-management factor, C. A subfactor approach is used, as proposed by Wischmeier, 1975, Mutchler et al., 1982 and Laflen et al., 1985. The factor C is expressed as

$$C = PLU * CC * SC * SR \quad (2)$$

where PLU is a prior land use subfactor, CC is a canopy subfactor, SC is a surface cover subfactor and SR is a surface roughness subfactor. Each of these subfactors in turn is also expressed by an equation so that a value can be computed for any specific situation. The equations contain the variables recognized to greatly influence erosion and vary according to land use and management practices.

The individual subfactor values presently proposed for rangeland are as follows:

$$PLU = (1-DY) * \exp (-0.012 * RS) \quad (3)$$

where  $D = \frac{0.55}{T}$  and T is the total years over which a soil disturbance diminishes, Y is the years since disturbance, exp is an expression for



the base of the natural logarithm (2.718) raised to the power of the number following, and RS is the live roots and buried residue in the upper 100 mm of soil (kg per ha per mm of depth). When  $Y = T$ , the coefficient decreases to 0.45 which is the value of the soil loss ratio observed for a well consolidated soil. RS is not easily measured without destructive sampling and considerable manpower. Therefore, Equation 4 was developed so that RS could be estimated from above-ground biomass estimates.

$$RS = BIO * \eta_i * \alpha_i / 100 \quad (4)$$

where BIO is the annual above ground biomass estimate (kg per ha),  $\alpha_i$  is the ratio of below ground biomass to above ground biomass and  $\eta_i$  is the ratio of biomass in the upper 100 mm of soil to the total below ground biomass. Table 1 has been prepared for reported typical values of  $\eta_i$  and  $\alpha_i$  by vegetation type (e.g. grass, brush, tree, etc.) which more or less corresponds to climatic region.

$$CC = 1 - FC * \exp(-0.34 * H) \quad (5)$$

where FC is the fraction of the land surface beneath canopy and H is the height (m) that raindrops fall after impacting the canopy.

$$SC = \exp(-4.0 * M) \quad (6)$$

where M is the fraction of the surface covered by nonerodible material (e.g. living and dead plant material, rock and large gravel). This factor is extremely important, especially where erosion pavement, cryptogams, or other nonerodible material protects bare soil from the erosive forces of raindrops or flowing water or both.

$$SR = \exp(-.026(RB-6)(1-\exp[-.035 * RS])) \quad (7)$$

where RB is a random roughness (mm) expressed as the standard deviation of surface elevations from a plane and is intended to reflect any tillage consequence or other roughness forms. These solutions for the equations presented herein as well as those for the other factors have been programmed for speedy solution in a user friendly way on a personal computer.

The soil erodibility value, K, as presented in the nomograph in Agriculture Handbook 537 will be left unchanged.

Other factors in the USLE have also been changed. For example, the R-factor data base which in Agriculture Handbook 537 (Wischmeier and Smith, 1978), was so inadequate for the western U.S., will be expanded to include about 1000 hourly precipitation stations. The R-factor analysis includes using site specific and

Table 1.--Mean values of  $\eta_i$  and  $\alpha_i$  for use in calculating the root subfactor (RS)<sup>1</sup> in the universal soil loss equation.

Vegetation type	$\eta_i$		$\alpha_i$	
	Best Estimate	Range	Best Estimate	Range
Northern mixed prairie	0.34	0.219-0.770	1.12	0.636-119.610
Tallgrass prairie	0.74	0.730-0.753	2.08	0.230- 2.080
Shortgrass prairie	0.41	0.244-0.645	3.18	1.12- 10.465
Desert grasslands	0.38	0.364-0.394	2.28	1.976- 2.804
Lehmann lovegrass	0.63	0.320-0.626	2.73	2.500- 3.126
Annual grasslands	NA <sup>1</sup>	NA	NA	NA
Southeastern grasses and forbs	0.40	0.228-0.667	0.69	0.402- 1.520
Pinyon-Juniper	0.20	0.039-0.276	NA	NA
Sagebrush-bunchgrass	0.38	0.353-0.413	28.8	27.270- 29.600
Herbaceous interspaces	0.45	0.413-0.451	27.3	7.850- 27.266
Cold desert shrubs	0.46	NA	5.87	4.090- 11.000
Chaparral	0.13 <sup>2</sup>	0.085-0.300	1.37	0.300- 1.900
Sandy shinnery oak	0.38	0.205-0.697	18.6	3.445- 18.589
Herbaceous interspaces	0.70	NA	5.48	NA
Southern desert shrubs	0.56	0.200-1.720	1.23	0.200- 18.35

<sup>1</sup>Data are not available.

<sup>2</sup>Root crowns and burls were excluded from root biomass calculations.

regionally developed correction factors. This approach adjusts hourly precipitation values to the  $EI_{30}$  that would be obtained from a recording gage with an expanded time scale similar to that used by Wischmeier and Smith in their original work (also called variable time digitization). The new isoerodent map for the western U.S. will have greater detail than that used heretofore. The correction for the approach on the Walnut Gulch Experimental Watershed in southeastern Arizona is:

$$EI_{30}(BP) = 0.215 + 1.956 EI_{30}(60) \quad (8)$$

$$r^2 = 0.95, \text{ S.E.E.} = 2.42$$

where  $EI_{30}(BP)$  = kinetic energy x 30 min. maximum depth of rainfall based on a breakpoint hyetograph and  $EI_{30}(60)$  = kinetic energy x 30 min. maximum depth of rainfall based on the record from an hourly recording.

Slope length and steepness (LS) for rangeland has been investigated extensively by McCool and Foster (personal communication) using research models and new field data. The non-linear LS versus erosion relationship presented in Agriculture Handbook 537 (Equation 9) will be replaced with tables/algorithms (Equations 10, 11, and 12) for rangelands (and other land uses) reflecting the estimated intensity of rill to interrill erosion and the presence of erosion associated with thawing soil. Slope length and steepness were given in the original Handbook 537 as:

(9)

$$LS = \left( \frac{\lambda}{72.6} \right)^m (65.41 \sin^2 \theta + 4.56 \sin \theta + 0.065)$$

where  $\lambda$  = slope length in feet;

$\theta$  = angle of slope; and

$m$  = 0.5 if percent slope is 5 or more, 0.4 slopes of 3.5 to 4.5 percent, 0.3 on slopes of 1 to 3 percent, and 0.2 on uniform slopes of less than 1 percent.

The term of Equation 9 is now replaced with:

$$LS_R = \left( \frac{\lambda}{72.6} \right)^m (10.0 \sin \theta + 0.027) \quad (10)$$

$S \leq 8\%$

$$LS_R = \left( \frac{\lambda}{72.6} \right)^m (17.2 \sin \theta - 0.55) \quad (11)$$

$S \geq 8\%$

where  $LS_R$  = revised topographic factor, and

$\lambda$  = horizontal projection of a slope

$s$  = slope in percent

The slope lengths exponent  $m$  is related to the ratio  $\beta$  of rill erosion (caused by shear of flow) to interrill erosion (caused primarily by raindrop impact), by the equation (Foster, et al., 1977):

$$m = \beta / (1 + \beta)$$

Values of the ratio  $\beta$  are obtained from (McCool et al., 1985; unpublished material):

$$\beta = \left[ \frac{E(r/i)(\sin \theta / 0.0896)}{(2.96 \sin^{0.79} \theta + 0.56)} \right] \quad (12)$$

where  $\sin \theta$  = slope angle

$E(r/i)$  = ratio of rill to interrill erosion; use 1 when the soil is moderately susceptible to rill erosion relative to interrill erosion; use 0.5 when the rill erosion is slight relative to interrill erosion; and use 2 when rill erosion is high relative to interrill erosion.

Finally, the supporting practices factor,  $P$ , has never been adapted specifically to mechanical rangeland conservation practices like ripping, root plowing, contouring and chaining. These practices affect wind and water erosion in several ways, most importantly by removal (usually temporarily) of surface cover. That effect is and should be considered in the cover-management factor. The mechanical practice effects on the  $P$ -factor involve the rate, amount and direction of runoff as well as the hydraulic forces that the flowing water exerts on soil. A table of  $P$ -factor values for five common mechanical practices used on rangelands, was developed by incorporating an estimate of the surface disturbance, duration of effectiveness of the disturbance and the runoff reduction into a physically based simulation model, CREAMS (Knisel, 1980). Simulations were performed for different slope steepness with the result that the table 2 values were adjusted internally in the computer program to reflect the slope steepness differences used in the program. Furthermore, 15 different scenarios for mechanical practices which alter roughness and runoff and are dependent on slope steepness are included in the computer program. This work was not used in the subsequent testing reported in this paper.

Table 2. Erosion Control Practice Values for Rangeland

Practice	P-Factor
Contour (1-16% slope)	0.60
Contour (17-25% slope)	0.85
Terraces (sod channel outlets)	0.14
Terraces (underground outlets)	0.05
Rootplow on countours	0.13
No practice	1.00

#### DATA BASE

The Agricultural Research Service of the U.S. Department of Agriculture maintains the 150 square kilometer Walnut Gulch Experimental Watershed in and around Tombstone, Arizona (fig. 2). The watershed is representative of millions of hectares of brush and grass rangeland found



throughout the semiarid Southwest. Major vegetation on the watershed includes creosote bush (*Larrea divaricata*), whitethorn (*Acacia constricta*), tarbush (*Flourensia cernua*), black grama (*Bouteloua eriopoda*), blue grama (*Bouteloua gracillas*), tobosagrass (*Hilaria mutica*), and bush muhly (*Muhlenbergia porteri*). Typically, plant canopy averages 50 percent and plant basal area averages 2 percent. Average annual precipitation on the watershed is about 300 mm, and is bimodally distributed, with approximately 70 percent occurring during the summer thunderstorm season of July through September when essentially all of the runoff occurs. General watershed characteristics and results of the research programs were described by Renard (1970, 1977).

Erosion data have been collected on the Walnut Gulch Watershed using a rotating boom (Swanson, 1965) rainfall simulator (Simanton and Renard, 1982 and 1986).

The soils at the three simulator sites have been reclassified and new series descriptions are being prepared by the USDA Soil Conservation Service. The old Cave, Hathaway, and Bernardino soil series (Gelderman, 1970) have been proposed in the new soil survey as the Bactor (loamy-skeletal, mixed, thermic Ustollic Calciorthid), Stronghold (coarse-loamy, mixed, thermic Ustollic Calciorthid), and Abrigo (fine-loamy, mixed,

thermic Ustollic Hapargid) series, respectively. Slopes on the rainfall simulation plots ranged from 9-11%, 10-12%, and 10-12% for the Bactor gravelly loam, Stronghold gravelly sandy clay loam, and the Abrigo very gravelly sandy loam series, respectively. The ground surface cover of all three sites is dominated by erosion pavement (rock and gravel typically occupy 40-60% of the soil surface).

At each simulator site, three surface conditions were evaluated: natural plots; plots wherein the vegetation was clipped at the plot surface and removed; and bare plots where the vegetation was clipped and the erosion pavement along with all litter removed. Furthermore, the simulation sequence involved an application of one hour at a rate of approximately 60 mm on day one followed by a 1/2 hour application 24 hours after the first run and a second 1/2 hour 60 mm/hr application about a half hour after the second run. Thus, the three simulation periods are called dry, wet and very wet runs indicative of antecedent soil moisture conditions. The simulations were also continued in the spring and fall over a four-year period (Simanton and Renard 1986). Differences in the temporal characteristics of erosion and runoff were appreciable for the treatments of clipping, bare and natural plots for all three soil sites although the trends were not consistent across the soil types (Simanton and Renard, 1986).



Figure 2. Location map showing the rainfall simulator plots in the Walnut Gulch Experimental Watershed.

## CORRELATION OF PREDICTED AND OBSERVED SOIL LOSS

Some of the data from Walnut Gulch contained in Appendix A (Simanton et al., 1986) of the Proceedings of the Rainfall Simulator Workshop, January 1985, Tucson, Arizona, were used as input to predict erosion with the proposed revision of the USLE as well as with the procedure outlined in Agriculture Handbook 537. To facilitate the computations, a computer program was written which permitted easy computations for the algorithms expressed in Equations 1 to 7 and Equations 10 to 12. The program is available upon request to the authors.

Because the erosion was much larger from the bare plots and because the vegetation and erosion pavement removal disturbed the soil surface of these plots, special care was made to account for differences between the predicted and observed bare plot soil loss. The effort involved evaluation of the coefficient of the exponential decay in the PLU (prior land use) term in the subfactor approach (equation 3). Observation of the data previously reported by Simanton and Renard (1986) showed that the disturbance lasted about 2 1/2 years. Thus the D term was assigned a value of 0.22 and the predictions made accordingly. The plot was kept free of vegetation by chemical control and only minimal disturbance occurred subsequently with rock removal.

Total root biomass measured near the site was 15,000 lbs/ac (Cox et al. 1986). The near surface fibrous root mass was 2,800 lbs/ac. Root crowns and deeper (> 4 in) large lateral roots comprised 81% of the total root mass. These deep roots contribute little to the stability of the soil surface and have no effect on surface erosion from raindrop impact and overland flow. Therefore, the near surface fibrous root mass value of 2,800 lbs/ac was used to initialize the RS subfactor for the first rainfall simulation runs on all three treatments. On the bare plots RS was reduced to 1,400 lbs/ac after 6 mo., 700 lbs/ac at the end of 1 year, and to 0 lbs/ac for the remainder of the study. On the clipped plots, the root mass was assumed to be 1,400 lbs/ac after the first year.

Table 3 lists regressions of predicted versus observed erosion for six different groupings of the simulator plot data. Data groupings #2 and 5 were made because of some questionable data on plot 4 in the spring of 1982.

In each instance, the slope of the line was less than unity indicating that the predicted values of soil loss (Handbook 537 procedure and proposed revised USLE) were less than the measured values. Comparison of data groups 3 and 6 showed that the new USLE which includes the subfactor approach to determining C and the new algorithms for the LS-factor give better estimates of soil loss than does Handbook 537. The new method also did not overpredict as often as did the Handbook 537 procedure for smaller soil loss conditions such as were obtained for the natural and clipped plots.

Table 3. Regression Analysis  $Y = a(OBS_{SL})$  for Predicted vs. Observed Soil Loss

Group No.	Data	N	a	r <sup>2</sup>
<u>Prediction with Handbook 537</u>				
1	bare plots 1981, 82, 83, 84	96	0.586	0.389
2	#1 w/o spring 1982 on plot 4	94	0.643	0.529
3	#2 plus clipped & natural 1982 & 84	190	0.659	0.699
<u>Prediction with Revised USLE</u>				
4	bare plots 1981, 82, 83, 84	96	0.712	0.348
5	#4 w/o spring 82 on plot 4	94	0.772	0.517
6	#5 plus clipped & natural, 1982 & 1984	190	0.768	0.766

## SENSITIVITY ANALYSIS

To illustrate the sensitivity of the subfactor values, the individual parameter values RS, FC, H, M and RB contained in equations (3) to (7) were varied about the mean values used in the Bactor soil simulator plots. The results of the sensitivity analysis on the cover-management factor in the USLE are presented in figures 3a, b, c, d and e. Care must be used in interpreting these figures because of the differing scale used for the ordinate values.

The single most sensitive term is probably that associated with ground cover, figure 3d. This sensitivity might also be expected intuitively because the intensity of bare soil exposed to either the splash erosion of impacting raindrops or the shear of water moving over the soil surface or both are the major elements permitting erosion to occur. Although the amount of roots present in the upper 100 mm of the soil profile are also quite sensitive (fig. 3a), much of this change occurs near the origin, i.e., most of the change occurs when the root mass changes from about 0 to 4000 lbs/ac and might, therefore, be expected in connection with decomposition of annual roots within a fallow field rotation and/or tillage activity, factors not encountered in normal range practices. The other factors, shown in figures 3b, c, and e, are not specially sensitive on an annual basis or at a specific site associated with land use or management.

## CONCLUSIONS

A new procedure has been presented to estimate soil loss resulting from water erosion on rangelands. The procedure involves a more realistic approach for estimating the cover-management factor in the USLE involving



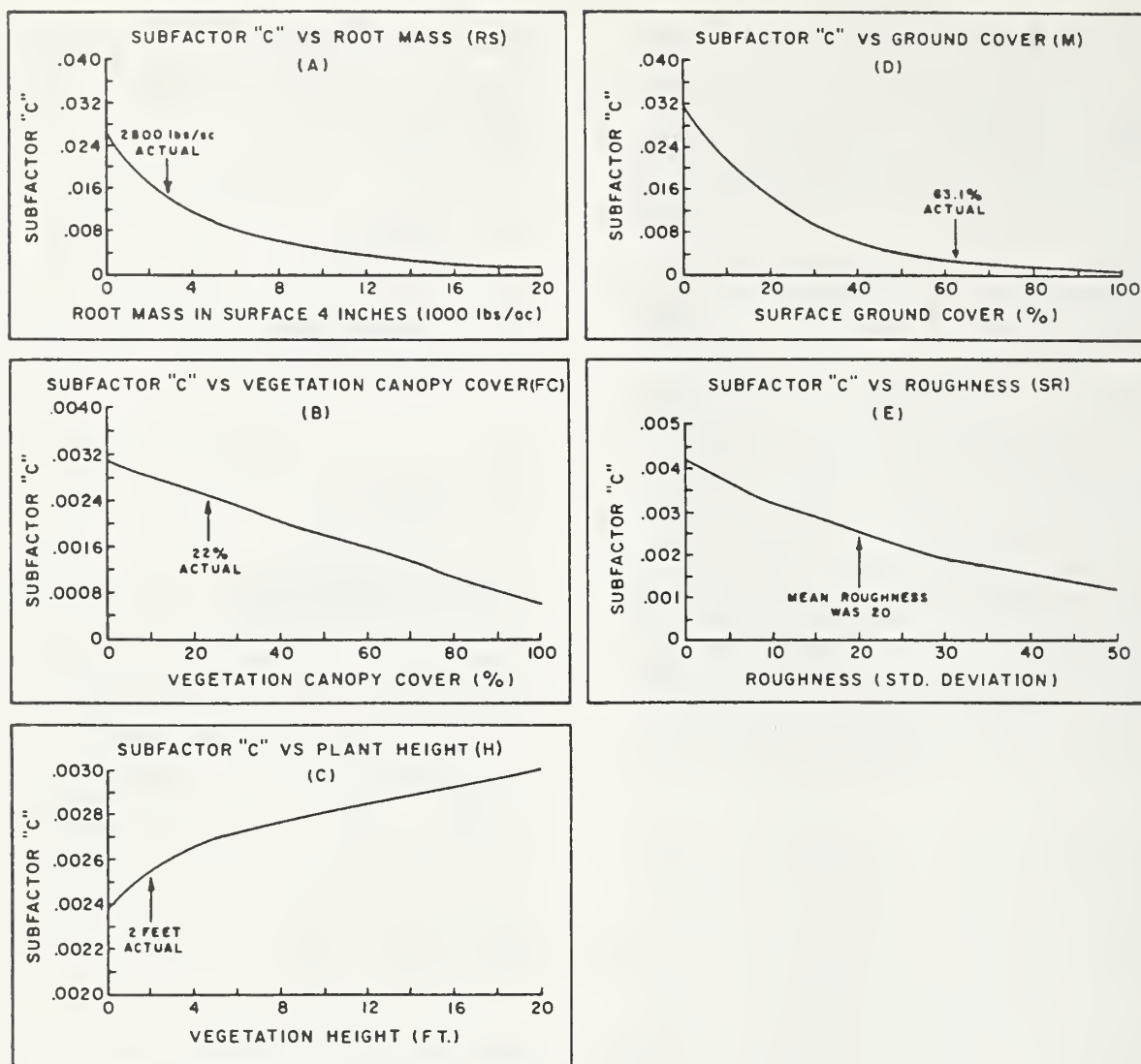


Figure 3. Sensitivity analysis for the cover-management subfactor.

consideration of prior land use, crop canopy, surface cover (including erosion pavement and cryptogams) and surface roughness. The prior land use and the surface roughness terms require information on the root mass in the upper 4 inches (100 mm) of the soil profile, a value not easily obtained without destructive sampling and extensive labor efforts. Root biomass can be estimated from above-ground biomass data using previously published data to relate above- to below-ground biomass. The table can be used in the absence of actual measurements.

The slope of a line through the origin for observed and predicted soil loss indicates that the predicted values (both with Handbook 537 and the revised USLE) underpredicted measured erosion on a series of plots in southeastern

Arizona on three different soils. However, the predictions were substantially improved using the revised USLE method.

#### REFERENCES

- Cox, J.R., G.W. Frasier and K.G. Renard. 1986. Biomass Distribution at Grassland and Shrub Sites. *Rangelands*. 8:67-69.
- Foster, G.R., L.D. Meyer, and C.A. Onstad. 1977. A Runoff Erosivity Factor and Variable Slope Length Exponents for Soil Loss Estimates. *Trans. Am. Society of Agricultural Engrs.* 20(4):683-687.
- Gelderman, F.W. 1970. Walnut Gulch Experimental Watershed, Arizona. Special Report, USDA-ARS, and Arizona Agricultural Experiment Station, 62 p.

- Knisel, W.G. (ed.). 1980. CREAMS - A Field-Scale Model for Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems. USDA-SEA Conservation Report No. 26, 643 p.
- Lafren, J.M., G.R. Foster and C.A. Onstad. 1985. Simulation of Individual-Storm Soil Loss for Modeling the Impact of Soil Erosion on Crop Productivity. In: Soil Erosion and Conservation 1985, El-Swaify, S.A., W.C. Moldenhauer, & Andrew Lo (Editors). Soil Cons. Soc. of Am., Ankeny, IA. p 285-295.
- Lane, L.J. (editor). 1985. Erosion on Rangelands: Emerging Technology and Data Base. Proceedings of the Rainfall Simulator Workshop. Society for Range Management. 68 pgs.
- Langbein, W.B. and S.A. Schumm. 1958. Yield of Sediment in Relation to Mean Annual Precipitation. Trans. Amer. Geophys. Union 39:1076-1084.
- Marshall, J.K. 1973. In: Lovett, J.V. (ed.). The Environmental, Economic, and Social Significance of Drought. Angus and Robertson, Publishers.
- McCool, D.K. and G.R. Foster, C.K. Mutchler and L.D. Meyer. 1985. Revised Slope Length Factor for the Universal Soil Loss Equation. (Unpublished) Background material for Revision of Agriculture Handbook 537. USDA-ARS, W. Lafayette, IN.
- Mutchler, C.K., C.E. Murphree and K.C. McGregor. 1982. Subfactor Method for Computing C-Factors of Continuous Cotton. Trans. Am. Soc. Agric. Engrs. 25:327-332.
- Renard, K.G. 1970. The Hydrology of Semiarid Rangeland Watersheds. USDA-ARS 41-162. 26 pp.
- Renard, K.G. 1977. Past, Present and Future Water Resources Research in Arid and Semiarid Areas of the Southwestern United States. 1977. Hydrology Symposium, Australian Institution of Engineers, Canberra, Australia. pp. 1-29.
- Renard, K.G. and G.R. Foster. 1985. Managing Rangeland Soil Resources: The Universal Soil Loss Equation. Rangelands 7(3):118-122.
- Simanton, J.R., C.W. Johnson, J.W. Nyhan and E.M. Romney. 1986. Appendix A. Proc. of the Rainfall Simulator Workshop, January 14-15, Tucson, Arizona. Soc. for Range Mgt., Denver, CO
- Simanton, J.R., Osborn, H.B. and Renard, K.G. 1980. Application of the USLE to Southwestern Rangelands. Hydrology and Water Resources in Arizona and the Southwest. Univ. of Arizona. 10:213-220.
- Simanton, J.R. and Renard, K.G. 1982. Seasonal Change in Infiltration and Erosion from USLE Plots in Southeastern Arizona. Hydrology and Water Resources in Arizona and the Southwest. University of Arizona. 12:37-46.
- Simanton, J.R. and K.G. Renard. 1986. Time Related Changes in Rangeland Erosion. In: Proc. of the Rainfall Simulator Workshop, Tucson, Arizona, Jan. 1985. pp. 18-22.
- Swanson, N.P. 1965. Rotating-boom Rainfall Simulation. Trans. Am. Soc. of Agric. Engrs. 8:71-72.
- Wischmeier, W.H. 1975. Estimating the Soil Loss Equations Cover and Management Factor for Undisturbed Lands. In: Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yields and Sources. ARS-A-40. Agric. Res. Service, USDA, Washington, D.C., p. 118-125.
- Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning. Agriculture Handbook 537. USDA-Science and Education Administration. 58 pp.



245

# Nitrogen Enrichment Effects on Vegetation of a Northern Chihuahuan Desert Landscape<sup>1</sup>

Joe M. Cornelius and Gary L. Cunningham<sup>2</sup>

---

Abstract.--A large scale experiment was conducted at the NSF/LTER Jornada site examining enrichment effects of a limiting resource (nitrogen) across a desert landscape. Results showed increased cover of ephemeral plant species and decreased species diversity in response to increased nitrogen, probably due to changes in availability ratios of limiting resources and decreased heterogeneity in the spatial distribution of soil nitrogen.

---

## INTRODUCTION

The conversion of desert grasslands to shrublands of much lower grazing potential has been well documented in much of the southwestern United States and northern Mexico. This conversion, or desertification, has long been recognized as being both a cause and effect of increased erosion. This erosion results in alterations of the spatial and temporal pattern of water and inorganic nutrients. It can thus affect patterns of primary production and the structure of vegetation. The historical records, though meager, indicate that the desert grasslands were relatively uniform and homogeneous over extensive areas that traversed a variety of landforms and soil types. The present vegetation is more heterogeneous and patchy. These former grasslands are now a mosaic of various shrub dominated vegetation types interspersed with areas dominated by forbs and annual grasses, as well as apparent remnants of the original perennial grass dominated vegetation. It is reasonable to hypothesize that this mosaic structure of the vegetation is a result of non-uniform spatial distributions of limiting resources that have resulted from increased erosion in the desertification process.

The traditional view of arid regions has been that ecosystem processes (eg., primary production, decomposition, population dynamics, etc.) are primarily controlled by patterns of

water availability (Noy-Meir 1973). However, recent studies in the northern Chihuahuan Desert (Ettershank et al. 1978, Gutierrez and Whitford 1987, Ludwig et al. 1987) have demonstrated nitrogen availability can be limiting, and thus controlling, during periods of adequate soil moisture. These studies suggest that inter-relationships of water and nitrogen availability need to be considered in order to understand arid ecosystem processes (Whitford 1986, Whitford et al. 1987).

Wondzell et al (1987a) discuss how patterns of landscape features and substrate composition may affect the flow of water, organic matter and nutrients across a landscape, which result in accumulation or loss of resources within individual landscape units. They also demonstrate how landscape features affect the relative stability of various landscape units and their susceptibility to desertification causing factors. These processes result in the formation of different biotic zones across a landscape, that can each respond differently to perturbations and disturbances, as well as management practices.

The importance of nitrogen as a limiting resource in the Chihuahuan Desert, and the importance of landscape features in affecting the transport of water, organic matter and nutrients between landscape units, and the stability of individual landscape elements, lead to several community level hypotheses relative to vegetation dynamics. First, nitrogen fertilizer amendment to an entire Chihuahuan Desert landscape should result in an increase in overall plant productivity. Second, addition of nitrogen should change the relative ratios of limiting resources within the ecosystem, which should affect community structure by favoring those species most limited by nitrogen availability, causing a reduction in plant community diversity (Tilman 1982). Third, effects of increased nitrogen should vary between different landscape units, depending

---

<sup>1</sup>Paper presented at the symposium on strategies for classification and management of native vegetation for food production in arid zones. [Forest Service, USDA Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Tuscon, Arizona, October 12-16, 1987].

<sup>2</sup>Joe M. Cornelius, Research Assistant, Gary L. Cunningham, Professor, Department of Biology, New Mexico State University, Las Cruces, NM. This research was supported in part by NSF grant BSR 814466 to the LTER Jornada Program.

upon the type of vegetation occurring on them, their stability, and the degree to which they have been impacted by desertification.

## METHODS

To examine these hypotheses, a large scale nitrogen amendment experiment was conducted on the National Science Foundation / Long-Term Ecological Research (NSF/LTER) Jornada Site located on the New Mexico State University College Ranch approximately 40 km N of Las Cruces, New Mexico. The site is located in the Jornada del Muerto basin at the northern edge of the Chihuahuan Desert. The Jornada basin was dominated by desert grassland vegetation prior to the 1900's, but, has since been mostly desertified to desert scrub vegetation (Buffington and Herbel 1965, York and Dick-Peddie 1969, Sallach 1986). Regional climate is arid to semi-arid with a mean annual precipitation of 215 mm, and, is characterized by three distinct seasons (table 1): 1) hot-dry springs (April-June), 2) hot-wet summers (July-October), and 3) cool-dry winters (November-March) (Walt Conley, unpublished data; Pieper et al. 1983). Intra-seasonal and intra- and inter-annual rainfall patterns are all highly variable in space and time, and droughts are common phenomena (Neilson 1986).

Two parallel (70 m apart) 2.7 km transects were established in 1981 ranging from a lower piedmont-slope fan collar at the base of Summerford Mountain in the Dona Ana Mountains (upper transect elevation ca 1410 m) to a small playa basin (elevation ca 1300 m). The site was heavily grazed in the late 1800's to the early 1900's. Since the 1920's the site has had a moderate to light grazing history, and, has not been grazed since establishment of the LTER site in 1981. Permanent sampling stations were established at 30 m intervals along each transect. Plant species cover was estimated for each station

TABLE 1. Seasonal distribution of rainfall (mm) at the NSF/LTER Jornada Site 1982-1986. Average is based on 1941-70 NOAA Jornada Experimental Range weather data.

YEAR	WINTER	SPRING	SUMMER	TOTAL
1982	35.8	13.8	125.4	175.0
1983	56.2	38.1	126.7	221.0
1984	26.9	68.8	219.5	315.2
1985	133.5	16.1	272.2	421.8
1986	27.9	20.3	143.0	215.1
AVERAGE	51.8	20.3	143.0	215.1

TABLE 2. Fall cover of photosynthetic pathway / life-form / growth habit functional groups by vegetation zone. Values are means of 1982-1986 untreated transect data. Vegetation zones are defined in the text.

GROUP <sup>s</sup>	VEGETATION ZONE					
	1	2	3	4	5	6
C <sub>3</sub> SH	0.0	29.3	3.2	24.7	5.6	4.2
C <sub>3</sub> SS	0.1	5.7	6.3	4.8	5.2	1.3
CAM	0.0	0.0	0.1	0.4	3.3	3.5
C <sub>4</sub> PG	40.3	20.1	8.7	4.8	22.3	42.2
C <sub>3</sub> PF	27.9	3.5	6.7	2.1	3.2	1.9
C <sub>4</sub> PF	0.1	0.7	1.4	0.1	0.6	2.7
C <sub>4</sub> AG	<0.1	0.4	5.8	<0.1	7.3	3.9
C <sub>3</sub> AF	9.6	3.5	5.6	3.8	8.5	7.7
C <sub>4</sub> AF	3.4	9.1	18.2	1.1	3.2	4.8

<sup>s</sup>Functional groups are: C<sub>3</sub>SH=C<sub>3</sub> shrubs; C<sub>3</sub>SS=C<sub>3</sub> subshrubs; CAM=crassulacean acid metabolism perennial succulents; C<sub>4</sub>PG=C<sub>4</sub> perennial grass; C<sub>3</sub>PF=C<sub>3</sub> perennial forbs; C<sub>4</sub>PF=C<sub>4</sub> perennial forbs; C<sub>4</sub>AG=C<sub>4</sub> annual grass; C<sub>3</sub>AF=C<sub>3</sub> annual forbs; C<sub>4</sub>AF=C<sub>4</sub> annual forbs;

every spring and fall 1982-1986 during times of maximum plant cover. A 30 m wide strip centered on one transect was amended with nitrogen (N) fertilizer (30 g NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> (10 g N) m<sup>-2</sup>, applied by airplane) in August 1983, August 1984, March 1985, August 1985 and July 1986.

Species were grouped into functional group types based on similar methods of resource acquisition in time and space. Functional group definitions were based on a combination of photosynthetic pathway (CAM, C<sub>3</sub>, or C<sub>4</sub>) (determined from Syvertson et al. 1976, and Kemp and Gardetto 1982), life-form (perennial or annual), and growth habit (shrub, subshrub, grass, or forb). Species determinations and life-form and habit classification are from Correll and Johnston (1972). Functional groups occurring on the transect were C<sub>3</sub> perennial shrubs, C<sub>3</sub> perennial sub-shrubs, CAM perennial succulents, C<sub>4</sub> perennial grasses, C<sub>3</sub> perennial forbs, C<sub>4</sub> perennial forbs, C<sub>4</sub> annual grasses, C<sub>3</sub> annual forbs and C<sub>4</sub> annual forbs.

Several major vegetation zones based on perennial species cover have been identified along the topographic gradient traversed by the transects (Wierenga et al. 1987). In order of occurrence from the playa basin to the base of the mountain, the vegetation zones defined were (table 2): (1) Playa-dominated by C<sub>4</sub> perennial grasses and C<sub>3</sub> perennial forbs, (2) Playa Fringe-dominated by C<sub>3</sub> perennial shrubs and C<sub>4</sub> perennial grasses, (3) Mixed Basin Slopes-characterized by low overall cover and dominated by C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> annual and perennial forbs and C<sub>4</sub> perennial grasses, (4) Bajada Shrubland-dominated by C<sub>3</sub> perennial shrubs, (5) Lower Piedmont Grassland-dominated by C<sub>4</sub> perennial grasses (low overall



cover), (6) Upper Piedmont Grassland-dominated by  $C_4$  perennial grasses (high overall cover). The Playa Fringe zone was omitted from analysis because this narrow zone had too small sample size. The Playa zone was also omitted from analysis because fertilization treatment effects were confounded by flooding events (Wondzell et al. 1987b).

## RESULTS AND DISCUSSION

Large spatial and temporal differences in vegetative characteristics have been observed along the gradient (figure 1) due to a combination of effects from: 1) seasonal and annual

variability in the occurrence and abundance of rainfall (table 1); 2) abiotic factors controlled by edaphic properties and/or landscape position (Wondzell et al 1987a, Wierenga et al. 1987); and 3) temporal variation in the physiological ability of different groups of species to respond to changes in abiotic variables. There has been a marked increase in  $C_4$  perennial grass cover in all zones except the Bajada Shrubland zone during the first 5 years of monitoring. But, there has been no detectable change in  $C_4$  perennial grass cover due to N amendment.  $C_3$  subshrubs,  $C_3$  perennial forbs, and  $C_4$  perennial forbs have shown similar patterns of response, increasing in cover in most zones through time, but showing no response to N amendment.

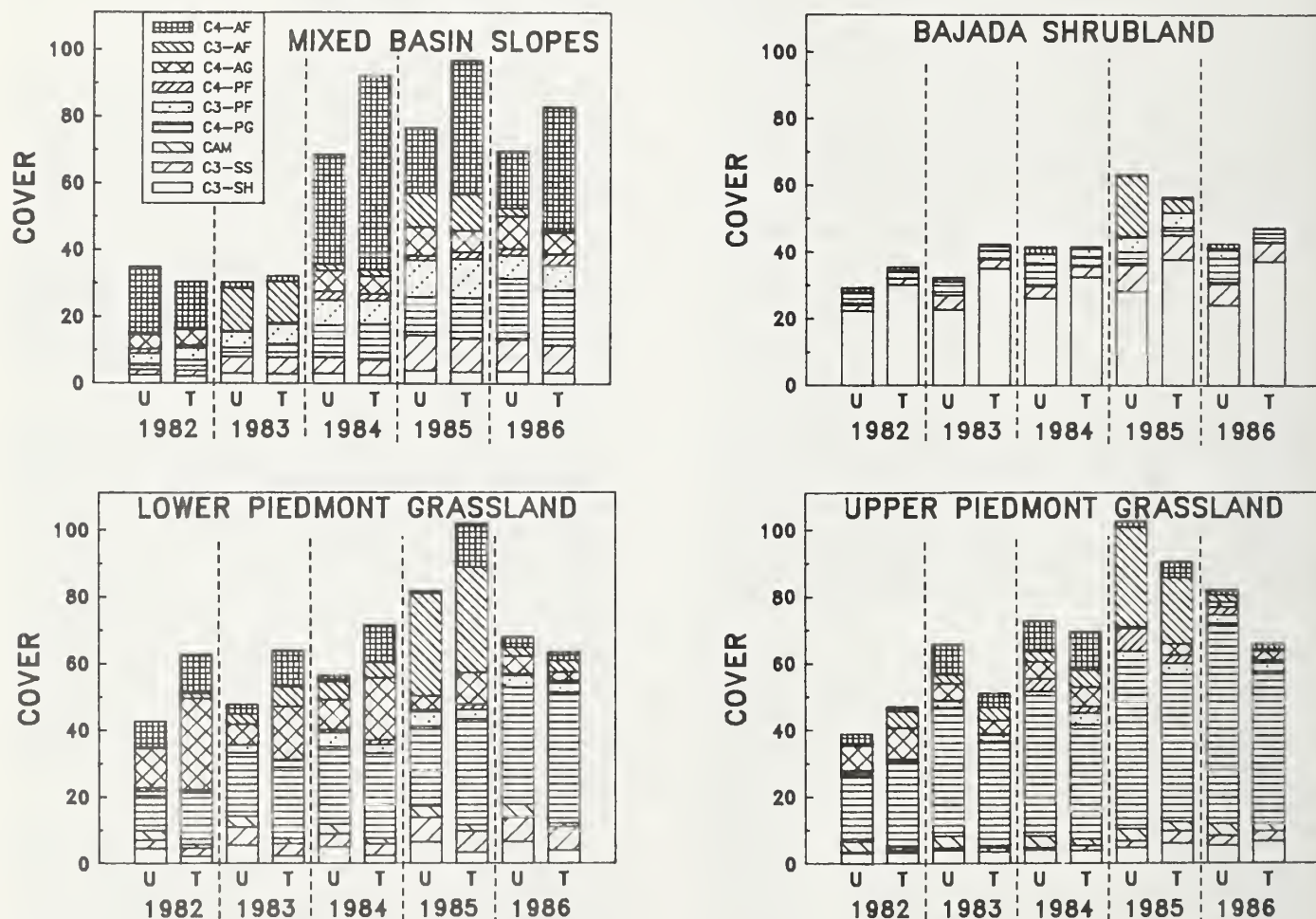


FIGURE 1. Fall 1982-86 cover of photosynthetic pathway / life-form / growth habit functional groups for the Mixed Basin Slopes, Bajada Shrubland, Lower Piedmont Grassland and Upper Piedmont Grassland vegetation zones. Abbreviations for functional groups are as follows:  $C_4$ -AF= $C_4$  annual forbs,  $C_3$ -AF= $C_3$  annual forbs,  $C_4$ -AG= $C_4$  annual grasses,  $C_4$ -PF= $C_4$  perennial forbs,  $C_3$ -PF= $C_3$  perennial forbs,  $C_4$ -PG= $C_4$  perennial grasses, CAM=crassulacean acid metabolism perennial succulents,  $C_3$ -SS= $C_3$  subshrubs, and  $C_3$ -SH= $C_3$  shrubs. U=untreated transect, T= $NH_4NO_3$  treated transect

The only measurable vegetation response to N amendment observed to date is an increase in cover by ephemeral plant species on the treated transect (figure 1). This has occurred in both spring flowering C<sub>3</sub> annual forbs (table 3) and summer flowering C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> annual forbs (fig. 1). However, the response has been large enough that it is detectable at the level of the entire landscape in overall gradient species diversity components, with decreases occurring in alpha, beta and gamma diversity on the treated transect (table 4). The changes in diversity are due to a small number of species increasing greatly in abundance in response to increased N. At the level of individual vegetation zones occurring along the gradient, only the Mixed Basin Slopes and Lower Piedmont Grassland zones, both characterized by low perennial cover, have shown a significant response to N amendment, exhibiting increased cover of annual species (figure 1, table 3) and decreased diversity (table 4). The Bajada Shrubland and Upper Piedmont Grassland vegetation zones, dominated by perennial species, have not shown a vegetation cover response to N amendment.

These results allow a preliminary evaluation of the proposed hypotheses. An increase in overall productivity in response to N amendment did occur, however, it was only detectable for ephemeral species. There was a decrease in overall diversity in response to N addition (and changing of limiting resource ratios), as predicted by Tilman's (1982) "resource ratio-diversity" hypothesis. There were differences in response between vegetation zones (landscape units) along the transect, with the greatest magnitude of response (increased productivity, decreased

TABLE 3. 1982-86 spring cover of C<sub>3</sub> annual forbs by transect treatment (TRT): N treated (T) and untreated (U).

YEAR	TRT	VEGETATION ZONE			
		ZONE 3	ZONE 4	ZONE 5	ZONE 6
1982	U	0.82	0.05	0.15	0.24
	T	0.96	0.02	0.74	0.20
1983	U	14.01	2.93	14.74***	32.46*
	T	12.24	1.35	27.28	24.78
1984	U	1.10	0.92	4.93	6.71
	T	0.48	0.26	1.28	1.56
1985	U	10.67***	8.95	12.63***	23.05
	T	16.81	7.39	29.78	22.22
1986	U	4.06	1.63	5.11**	13.15
	T	5.24	1.21	14.78	15.74

\*p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001

TABLE 4. Fall 1982-86 N<sub>2</sub> plant species diversity components (Peet 1974) for the overall gradient (alpha, beta and gamma) and within each zone (intra-zone diversity). Values were jackknife estimated according to Routledge (1980, 1984).

YEAR	TRT	GRADIENT DIVERSITY			INTRA-ZONE DIVERSITY			
		ALPHA	BETA	GAMMA	3	4	5	6
1982	U	6.5	3.8	24.6	13.3	1.9	16.5	4.2
	T	5.1	3.8	19.1	14.7	1.4	8.8	3.6
1983	U	5.4	2.9	15.2	7.5	2.2	18.9	3.6
	T	4.8	3.1	14.8	9.4	1.5	14.1	3.3
1984	U	6.7*	4.0*	26.8*	17.2*	2.8	17.2	3.7
	T	5.2	3.2	16.6	9.9	1.7	13.1	5.2
1985	U	7.9*	3.4	27.1*	19.8*	4.2	11.7	4.2
	T	5.5	3.2	17.9	12.4	2.3	9.8	4.5
1986	U	7.0*	3.3	23.3*	16.6	3.3	13.2*	2.5
	T	5.3	3.5	18.9	14.8	6.4	5.9	2.6

\*TRT=treatment: U=untreated, T=N treated.

\* Indicates no overlap in 0.95 confidence limits of estimates for treated and untreated transects.

diversity) occurring in zones characterized by low perennial cover (ie., dominated by ephemeral species). Zones characterized by low perennial cover also exhibited the greatest increase in perennial cover (especially grasses) over time, a recovery response from the grazing regime prior to exclusion from grazing. However, all vegetation zones, with the exception of the Bajada Shrubland zone, showed a significant increase in perennial grass cover through time.

Should the fact that no N amendment response was observed for C<sub>4</sub> perennial grasses be interpreted negatively from a management perspective? At first, this may appear to be the only interpretation possible. However, the method by which we measured response may be misleading. For instance, actual grass biomass production may have been greater on the treated transect, even though overall cover was the same. Also, N content of tissue may have been increased on the N amended transect. Both of these possible responses to N amendment, which were not examined in our study, would cause increased quality of grazing forage, even if overall cover was not increased.

The observed response of ephemeral species to N amendment could also be important from a range management perspective. The increase in C<sub>3</sub> annual forb cover in response to increased N in the spring results in an improvement in forage quality at a time of year when grass forage is unavailable or of low quality. Several of the C<sub>3</sub> annual species which increase cover in response to



increased N, also respond by increasing the N content of their tissues (Whitford 1986), which would also result in an improvement in forage quality.

Ecologically, the increase in ephemeral species production in response to N amendment should result in a gradual increase in soil organic carbon (C) and N. This increase in soil C and N, could, over an extended period of time, result in a more homogeneous spatial distribution of limiting resources, leading to an increase in the density, cover, and productivity of perennial grasses, effectively reversing the patchy distribution of resources, and thus vegetation, caused by desertification. However, the change could take many years to occur.

The process of recovery from overgrazing is frustratingly slow in arid regions. But, the evidence presented in this research does indicate that low productivity rangeland within our research area, caused by previous overgrazing, can recover within certain types of vegetation and certain landforms. The slow rate of recovery and the lack of dramatic productivity response to N amendment, particularly for perennial grass species, mean that the use of widespread N amendment is not economically feasible in arid lands. However, when management for recovery of intensively desertified arid lands becomes necessary, nitrogen needs to be considered.

#### LITERATURE CITED

- Buffington, L.C. and C.H. Herbel. 1965. Vegetational change on a semidesert grassland range from 1858-1963. *Ecological Monographs* 35: 139-164.
- Correll, D.S. and M.S. Johnston. 1972. *Manual of the vascular plants of Texas*. Texas Research Foundation, Renner, Texas. 1881 pp.
- Gutierrez, J.R. and W.G. Whitford. 1987. Responses of Chihuahuan Desert herbaceous annuals to rainfall augmentation. *Journal of Arid Environments* 12: 127-139.
- Ettershank, G., J. Ettershank, M. Bryant, and W.G. Whitford. 1978. Effects of nitrogen fertilization on primary production in a Chihuahuan desert ecosystem. *Journal of Arid Environments* 1:135-139.
- Kemp, P.R. and P.E. Gardetto. 1982. Photosynthetic pathway types of evergreen rosette plants (Liliaceae) of the Chihuahuan Desert. *Oecologia (Berl)* 55: 149-156.
- Neilson, R.P. 1986. High-resolution climatic analysis and southwest biogeography. *Science (Washington, D.C.)* 232: 27-34.
- Noy-Meir, I. 1973. Desert ecosystems: Environment and producers. *Annual Review of Ecology and Systematics* 4: 25-51.
- Peet, R.K. 1974. The measurement of species diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics* 5: 285-307.
- Pieper, R.D., J.C. Anway, M.A. Ellstrom, C.H. Herbel, R.L. Packard, S.L. Pimm, R.J. Raitt, E.E. Staffeldt and J.G. Watts. 1983. *Structure and function of North American desert grassland ecosystems*. New Mexico State University, Agricultural Experiment Station, Special Report 39, 298 pp.
- Routledge, R.D. 1980. Bias in estimating the diversity of large, uncensused communities. *Ecology* 61: 276-281.
- Routledge, R.D. 1984. Estimating ecological components of diversity. *Oikos* 42: 23-29.
- Sallach, B.K. 1986. *Vegetation changes in New Mexico documented by repeat photography*. Unpublished Master's thesis. Department of Biology, New Mexico State University, 73pp.
- Syvertson, J.P., G.L. Nickell, R.W. Spellenberg and G.L. Cunningham. 1976. Carbon reduction pathways and standing crop in three Chihuahuan Desert plant communities. *Southwestern Naturalist* 21: 311-320.
- Tilman, D. 1982. *Resource competition and community structure*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey. 296pp.
- Ludwig, J.A., W.G. Whitford and J.M. Cornelius. 1987. Effects of water, nitrogen, and sulfur amendments on cover, density and size of Chihuahuan Desert ephemerals. *Journal of Arid Environments* (in press).
- Whitford, W.G. 1986. Pattern in desert ecosystems: water availability and nutrient interactions. pp 109-117, In: Z. Dubinsky and Y. Steinberger (eds), *Environmental Quality and Ecosystem Stability*, Vol. III A/B, Bar-Ilan University Press, Ramat-Gan, Israel.
- Whitford, W.G., J.F. Reynolds and G.L. Cunningham. 1987. How desertification affects limitation of primary production on Chihuahuan Desert watersheds. *Proceedings of the symposium on strategies for classification and management of native vegetation for food production in arid zones*. USDA, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Tuscon, Arizona, October 12-16, 1987.
- Wierenga, P.J., J.M.H. Hendrickx, M.H. Nash, J. Ludwig and L.A. Daugherty. 1987. Variation of soil and vegetation with distance along a transect in the Chihuahuan Desert. *Journal of Arid Environments* 13: 53-63.
- Wondzell, S.M., G.L. Cunningham and D. Bachelet. 1987a. A hierarchical classification of landforms: Some implications for understanding local and regional vegetation dynamics. *Proceedings of the symposium on strategies for classification and management of native vegetation for food production in arid zones*, USDA, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, October 12-16, 1987.
- Wondzell, S.M., J.M. Cornelius and G.L. Cunningham. 1987b. Spatial and temporal distribution patterns of plant species on a Chihuahuan Desert playa. *Ecology* (in review).
- York, J.C. and W.A. Dick-Peddie. 1969. *Vegetation changes in southern New Mexico during the past hundred years*. pp 157-166, in McGinnies, W.G. and B.J. Goldman, eds. *Arid Lands in Perspective*. University of Arizona Press, Tuscon.

245

# CORRECCION DE TORRENTERAS PARA LA PRODUCCION DE FORRAJES EN ZONAS ARIDAS<sup>1</sup>

Carlos A. Berlanga Reyes<sup>2</sup>

---

Resumen.- Se pretende manejar escurrimientos - mediante curvas-nivel, establecer plantas forraje-- ras deseables, controlar erosión; se obtuvieron re-- sultados óptimos, desmontando para sembrar Cenchrus ciliaris en parte de superficie de curvas y ----- Atriplex canescens en las restantes. Obras de con-- servación suelo-agua, preparación de terreno, asegu-- ran mayor éxito al resembrar plantas forrajeras y - mayor capacidad de carga de áreas degradadas.

---

## INTRODUCCION

Es sabido de las grandes superfi--- cies consideradas como zonas áridas y -- semiáridas; muchos son los autores que - las han clasificado, ya sea de acuerdo a sus características físicas, de vegeta-- ción o climáticas, en sí, son grandes -- extensiones que ocupan alrededor del 25% de los Continentes (30 millones de km<sup>2</sup>), y México por su situación geográfica se-- encuentra comprendido entre estas áreas, aproximadamente el 45 % de su territorio posee las características climáticas tí-- picas que se consideran, como son, preci-- pitación entre los 100 y 250 mm anuales, mala distribución de las lluvias durante el año y cubierta vegetal menor al 70 %-dominada principalmente por xerófitas.

Hablar de zonas áridas y semiáridas es pensar en parajes inhóspitos y desa-- lentadores, más la naturaleza ha selec-- cionado organismos vivos que toleran per-- fectamente las situaciones adversas con-- hábitos característicos bien marcados, - existen tantas especies que por su uso - pueden agruparse en Industriales como -- lechuguilla, candelilla, cuayule, palmas, soteles, etc. Medicinales, Forrajeras y Ornamentales como los cactus, por citar--

algunos, el hombre en su afán de subsistir y el desconocimiento de técnicas de mane-- jo, ha originado problemas destructivos y de consecuencias irreversibles en algunos casos.

Innumerables investigadores de estas áreas han tratado de combatir el proceso-- de desertificación por medio de resiemb--- bras con pastos y arbustos forrajeros con bastantes buenos resultados, aunque en -- algunos de los casos tenga que hacerse a-- altos costos, son indispensables para la-- recuperación de agostaderos y áreas degra-- dadas; por métodos naturales podría tar-- dar decenas de años en recuperarse o tal-- vez continuar su proceso de deterioro si-- no se emplea alguna técnica de manejo --- adecuada.

El Instituto Nacional de Investiga-- ciones Forestales y Agropecuarias a tra-- vés del Campo Experimental "La Saucedá", - Coahuila ha ensayado métodos de tratamien-- tos a el suelo y a la vegetación con el - propósito de establecer cubiertas vegeta-- les mediante resiembras de gramíneas y -- arbustos forrajeros nativos e introduci-- dos, con resultados satisfactorios y alen-- tadores que inclusive ya han sido adopta-- dos por Programas de Desarrollo de otras-- Instituciones.

---

<sup>1</sup> Documento presentado en el Simpo-- sio Estrategias de Clasificación y Mane-- jo de Vegetación Silvestre para la Pro-- ducción de Alimentos en Zonas Áridas Tucson, Arizona, U.S.A. 12-16, Octubre, 1987

<sup>2</sup> Ing. Carlos A. Berlanga Reyes, <sup>K</sup>Investigador Titular del [INIFAP-COAH. Méxi-- có.]

La finalidad del presente trabajo -- fue el de lograr manejar los escurrimien-- tos o torrentes mediante el trazo de cur-- vas a nivel, para el establecimiento de - plantas forrajeras deseables y controlar-- la erosión.



## ANTECEDENTES

Heady 1975; Studart et. al. 1975, mencionan que el mejoramiento de la vegetación y de pastizales puede efectuarse por dos métodos: directo e indirecto.

El directo se caracteriza por la manipulación de la vegetación por medios físicos, mecánicos, químicos, modificaciones a la superficie del suelo y otros para la utilización de la precipitación "in situ".

De manera indirecta se puede hacer por métodos como: control del número y clase de animales, distribución de pastoreo, tamaño y forma de apotreramientos, etc.

El hecho es que en los dos casos anteriores el objetivo es estimular la sucesión del ecosistema hacia etapas de mayor productividad, considerando otros factores característicos de los ecosistemas en estudio.

Jabalera y Fierro (1977) definen la resiembra de agostaderos, como el proceso de establecimiento por medio de la diseminación artificial de semillas adaptadas. Comunmente usadas para rehabilitar pastizales degradados, zonas denudadas y agostaderos de baja productividad.

Elco (1972) dice que de seis especies que probó, el sorgo aluminum Sorghum aluminum es el más indicado para realizar siembras de pradera bajo riego, utilizanlo como única especie y los zacates -- garrapata Eragrostis superba, panizo -- azul Panicum antidotale, gigante ----- Leptochloa dubia, banderilla Bouteloua curtipendula y azulado Panicum virgatum pueden ser utilizados en mezclas para resiembras de pastizales.

Echavarria (1973) dice que la resiembra en microcuencas o surcos muestra grandes perspectivas como práctica de mejoramiento de pastizales denudados, pues aunque su costo es ligeramente mayor que la siembra utilizando solamente rastra, disminuye los riesgos de fallas en el establecimiento de los zacates y logra una mayor producción de forraje y recuperación rápida de la inversión.

Aguirre y colaboradores (1976) probaron estructuras de captación para el establecimiento de gramíneas y arbustos en mezcla, observaron que las curvas a nivel resultan más eficientes un 72 % -- que el mejor tratamiento de picos.

Rodríguez, R. y colaboradores ---- (1976) realizaron trabajos de resiembra-

y preparación de terreno con mezcla de -- cinco gramíneas y concluye que al efectuar la siembra después de desmontar y -- rastrear con tractor y solamente rastreo, la producción de materia seca fue superior 32.5 y 38.3 kg de materia seca/ha -- respectivamente, que sin realizar trabajos de ninguna especie (testigo) por efecto principalmente de la preparación de -- una cama de siembra más completa.

Flores (1980) trabajó con cinco gramíneas en mezcla en diferentes sistemas -- de cosecha de agua y concluye que, en -- cuanto a densidad, el mejor tratamiento es el de microcuencas con 160 plantas/m<sup>2</sup>, en composición botánica sobresalió el -- sorgo aluminum Sorghum aluminum en poceo con -- 92 plantas/m<sup>2</sup>, la producción o rendimiento fue mayor haciendo poceo con 483.7 gr/m<sup>2</sup> y concluye que el poceo presenta las -- características más favorables en cuanto al establecimiento de pastizales de secano.

Ortega, R. y Guerrero, B. (1986) -- dicen que el zacate buffel Cenchrus ciliaris fue el que mejor se estableció -- de tres especies probadas en siembras para corregir torrenteras.

## METODOLOGIA

Para desarrollar este trabajo se escogió un terreno de superficie aproximada a las 60 hectáreas en el Campo Experimental Forestal "La Saucedá" dentro del tipo de vegetación denominado Matorral Inermeparvifolio dominado por gobernadora ---- Larrea tridentata y hojaseño Flouencia cernua, nopal rastrero Opuntia rastrera y palma china Yucca filifera, cubierta vegetal menor al 70 %, coeficiente de agostadero de 45 hectáreas por unidad animal y pendiente uniforme del 2 %. En el área se encuentran tres pequeños arroyuelos o torrenteras que fueron tomados para su -- corrección mediante el trazo de curvas a nivel perpendicular al sentido de la escurriencia natural para cubrir el suelo de -- vegetación, para este caso con gramíneas y arbustivas forrajeras primeramente; se usaron también material nativo como son -- el caso de magueyes y nopales para darle una mayor consistencia a los bordos y que dado alguna época crítica de escasez de -- materia seca, sea empleado como forraje de emergencia.

Para realizar la resiembra de zacate se probaron tres áreas siembra-escurrimiento las que son 1:1, 2:1 y 1:2 lo que significa que la mitad de la superficie -- de la curva se desmonta y se siembra, y -- en la otra mitad se deja la vegetación -- existente como protección, en el segundo-

caso (2:1) se desmonta y siembran dos terceras partes de la superficie de la curva y en una tercera parte se deja la vegetación existente; para el tercero (1:2) una tercera parte de la superficie se desmonta y siembra, y dos terceras partes se dejan con la vegetación existente o de escurrimiento.

Para la siembra de los arbustos forrajeros se realizó un desmonte selectivo en el área sin tratamiento al suelo y donde se extrajeron los arbustos no deseados se sembraron arbustos forrajeros en maceta de vivero.

Previos trabajos a este, relacionados con siembras de pastos nativos e introducidos, se observó que presentan mayor adaptación y sobrevivencia los introducidos; se realizó la selección de los que mejor se comportaron y son: el sorgo alnum Sorghum alnum que es un zacate bianual que llega a alcanzar los 2 metros de altura, con sistema radicular profundo y rizomatoso, resistente a sequías, de rápido crecimiento con buenas condiciones de humedad y con alto rendimiento de materia seca. Zacate buffel Cenchrus ciliaris pasto amacollado de raíz fibrosa con rizomas, resistente a la sequía y variaciones de temperatura, su crecimiento es en los meses más calurosos y lluviosos del año aunque rebrota durante el invierno estimulado por lluvias eventuales y pastoreo, soporta el pastoreo intensivo. Panizo azul Panicum antidotale pasto perenne de aproximadamente 1.50 m de altura, con sistema radicular profundo, con coronas rizomatosas cortas y gruesas, de crecimiento rápido y produce grandes cantidades de forraje; sus tallos endurecen y lignifican rápidamente, por lo que es recomendable sea pastoreado o cortado antes de la floración.

La densidad de siembra empleada para estos zacates fue de cuatro a seis kilogramos por hectárea.

Los arbustos forrajeros que se utilizaron para este trabajo son costilla de vaca Atriplex canescens, saladillo Atriplex acanthocarpa, que son dos arbustos nativos con buen contenido protéico, Atriplex nummularia y Atriplex halimus que son arbustos introducidos.

## RESULTADOS

Los resultados obtenidos indican que la relación área siembra-escurrimiento de 1:2 (una parte de siembra por dos partes de escurrimiento), es la mejor en cuanto al establecimiento de las especies de zacate incluidos en este estudio ya que la distribución del agua fue más satisfactoria y se manifestó en la uni-

formidad del crecimiento del zacate a lo largo de la curva, con excepción de los torrentes en donde este alcanzó más altura y vigorosidad.

En cuanto al establecimiento de los zacates, el sorgo alnum y buffel presentaron mayor sobrevivencia al primer año; al segundo el buffel y panizo azul se comportaron mejor, y el sorgo alnum se restringió a las áreas de mayor escurrimiento y acumulación de agua. El zacate buffel cubrió paulatinamente en su mayoría la parte removida de la curva y las áreas donde se habían sembrado las otras dos especies mezclándose y desplazándolas inclusive a áreas con mayor acumulación de agua mostrando con el tiempo ser el mejor de los probados.

En cuanto a productividad de materia seca se realizaron cortes con intensidad al 60 % en muestreos de un metro cuadrado y se reportaron hasta 465 gramos por metro cuadrado de materia seca de zacate buffel, sin considerar tanto a sorgo alnum y panizo azul por no ser significantes sus poblaciones.

De los arbustos forrajeros incluidos no se tomaron datos de producción pero el que mejor se estableció fue la costilla de vaca primeramente y Atriplex nummularia en segundo orden.

Los dos restantes no tuvieron el éxito que los dos anteriores.

Las especies consideradas para reforzar los bordos tuvieron buenos resultados de establecimiento y crecimiento además de compactar el suelo de estas para retenerlos y contener las escorrentías o torrentes.

En la actualidad otros programas y dependencias del Gobierno Federal en México, han mostrado interés en realizar este tipo de trabajos de manera más intensiva. Un caso muy palpable es el del Programa de Desarrollo de las Zonas Áridas dependiente de los Distritos de Desarrollo Rural de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

Ellos han trabajado en algunos ejidos del Estado de Coahuila de los que se citan algunos, en que la capacidad de carga era superior a 60 hectáreas por unidad animal.

Ejido La Paloma, Ejido Nacapa, Noria de la Sabina, Independencia y otros en donde el coeficiente de agostadero se ha reducido considerablemente.

En el Ejido Plan de Guadalupe se cercaron 520 has de las que se sembraron 196 con pastos, y redujeron su coeficien-



te de agostadero de 70 hectáreas por unidad animal a menos de 26, esto significa un logro satisfactorio, ya que inclusive les ha otorgado un crédito para introducir ganado mayor. (Gómez, com. per. 1987).

El Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo, (Canadá, CIID) - en convenio con el INIFAP ha establecido módulos de producción rural en diversos ejidos de Coahuila y San Luis Potosí, en los que ha incluido este tipo de trabajos donde realizan desmonte, rastreo y siembra de zacates en la tercera parte de la superficie de las curvas, plantación de nopal como retenedor de bordos y desmonte selectivo en el resto de la superficie -- para plantación de arbustos forrajeros. Han obtenido resultados satisfactorios de producción de materia seca de zacates con 2324 kg/ha y 637 kg/ha de arbustos forrajeros susceptibles de aprovechamiento. (Reyes, CH. J. 1987)

#### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La resiembra de zacates y arbustos forrajeros para producción de materia seca es conveniente realizarla en áreas --- degradadas, teniendo en cuenta algunos -- factores involucrados en el ecosistema.

Es conveniente realizar obras de conservación de suelos y agua como las curvas a nivel y preparación de una cama de siembra con el propósito de asegurar el éxito de la resiembra con zacates y arbustos forrajeros, esto redundará en una mayor densidad de plantas deseables y consecuentemente en una mayor capacidad de carga animal en los agostaderos.

#### REVISION DE LITERATURA

Aguirre, L. R.; Gasto, C. J.; Nava, C. R. 1976. Estructuras de escurrimiento y pastizales resemebrados en el Norte de Zacatecas. Monografía Técnico-Científica Vol 2 No. 2. -- Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Buenavista Saltillo, -- Coah. pp. 101-142

Echavarría, M. S. 1973. Evaluación del comportamiento de diez especies de zacates nativos e introducidos, sembrados de temporal en la Región Central de Chihuahua. Pastizales. Boletín de Información Técnica Vol IV. No. 2. Rancho Experimental "La Campana". INIP. SAG. México

Elco, S. B. 1972. Preferencia de zacates nativos e introducidos por bovinos en pastoreo. Pastizales. Boletín de Información Técnica Vol III-2 Rancho Experimental "La Campana". INIP. SAG. México

Flores, A. E. 1980. Establecimiento de pastizales de secano en diferentes sistemas de cosechas de agua en el Norte de México. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", Buenavista Saltillo, -- Coahuila. México.

Gómez, M. 1987. Comunicación personal. Ejido Plan de Guadalupe.

Jabalera, J.; Fierro, L. C. 1977. Resiembra de agostaderos. Pastizales. Boletín de Información Técnica Vol. VIII No. 4, Rancho Experimental "La Campana". INIP. SAG. México. pp. 9-11.

Ortega, R. S. A.; Guerrero, B. A. 1986. Corrección de torrenteras con siembras de tres especies de pasto. --- Inédito.

Reyes, CH. J. 1987. Avances en el módulo de producción integral. Taller de captación y aprovechamiento del agua con fines agropecuarios en zonas de escasa precipitación. Memoria Inédita.

Rodríguez, R. C.; Nava, C. R.; Gasto, C. J. 1976. Comparación de prácticas de resiembra de pastizales en el Norte de Zacatecas. Monografía Técnico Científica Vol. 2 No. 2. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Buenavista, Saltillo, Coah. México. pp. 58-98

# 245 MANEJO DE SUELOS SALINOS Y SALINO-SODICOS<sup>1</sup>

Gustavo J. Lara Guajardo<sup>2</sup>

Resumen.- Debido al alto índice de tierras con problemas de sales indeseables, que con frecuencia nos plantean serios problemas en el desarrollo vegetal y consecuentemente en la productividad, conscientes de esto, surge la necesidad de la utilización de metodologías físicas y biológicas para la utilización y rehabilitación de estas áreas a corto y mediano plazo.

## INTRODUCCION

Las tierras áridas y semiáridas de México, constituyen para el país un problema de gran magnitud, debido a que ocupan más de la mitad del territorio nacional.

Se estima aproximadamente un 60% de estas tierras con problemas de concentraciones de sales indeseables, tales como la de sodio que con frecuencia plantea problemas en el desarrollo agrícola, aunado a esto el exceso de las mismas limitan el crecimiento vegetal y consecuentemente la productividad.

Como se sabe, las sales se encuentran en la solución del suelo, formando las sales solubles que se pueden extraer con obras de drenaje o succión, mientras que las que se encuentran en las arcillas (de origen intercambiable), si no exceden de un 15% en su concentración, representan un problema serio de rehabilitación.

Por lo anterior, estas extensas regiones a la fecha casi improductivas, representan un reto para el INIFAP, al realizar estudios para la rehabilitación e incorporación de estas áreas a la economía nacional.

<sup>1</sup> Documento presentado en el Simposio Estrategias de Clasificación y Manejo de Vegetación - Silvestre para la Producción de Alimentos en Zonas Áridas.

Tucson, Arizona. U.S.A.  
12-16 Octubre, 1987.

<sup>2</sup> Ing. Gustavo J. Lara Guajardo, Experto "B" Región Norte Red No Maderables del INIFAP-COAH. México.]

## OBJETIVOS

Cabe mencionar que el método a utilizar en este trabajo queda comprendido dentro de los biológicos mediante la utilización de las especies halófitas, en este caso Atriplex canescens.

El presente estudio pretende la recuperación y rehabilitación de áreas con problemas de sales, mediante la utilización de métodos físicos y biológicos con Atriplex canescens para la incorporación de estas vastas superficies a la economía nacional.

## ANTECEDENTES

La acumulación de sales se asocia a procesos naturales o inducidos que propician las condiciones de ensalitramiento, si las sales liberadas por las rocas y minerales primarios permanecieran en su lugar de origen, los problemas de salinidad y/o sodicidad no se extrapolarían; el problema se genera cuando las sales se transportan y provocan acumulaciones en áreas o estratos asociados con otros problemas del suelo.

### Clasificación de los suelos con problemas de sales

A inicios del siglo sobre la clasificación de suelos ensalitrados, Hilgard los dividió en alcali blanco (tipo salino) y alcali negro (tipo sódico); posteriormente Gedroiz utilizó los siguientes términos:

#### Suelos Salinos.

Son los que contienen suficientes sales solubles que interfieran en el crecimiento de plantas cultivadas, donde los valores de conductividad eléctrica del extracto de saturación son mayores -



de 4 mmh os/cm, el porcentaje de sodio intercambiable es menor del 15% y su pH menor de 8.5; acumulación de sales como cloruro de sodio, sulfato de calcio, cloruro de calcio, en sus características físicas, con suelos de regular drenaje y regularmente defloculados cuando las sales se presentan en porcentajes muy elevados.

#### Suelos Sódicos.

Contienen cantidades en exceso de sodio intercambiable, los valores de conductividad eléctrica son menores de 4 mmh os/cm, su pH fluctúa entre 8.5 - 10 y su porcentaje de sodio-intercambiable excede el 15% con escasa presencia de sales solubles, son suelos de baja permeabilidad y forman capas duras al precipitarse el carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

#### Suelos Salinos-Sódicos.

Tienen la misma aperiencia y propiedades de los suelos salinos, mientras exista exceso de sales solubles con la particularidad de permanecer flocculados; pero al producirse lavado o lixiviación de sales por lluvias o riegos, se transforman en suelos sódicos.

En relación a propiedades químicas, el resultado de la combinación de los procesos de salinización y sodificación, presentan propiedades químicas de suelos salinos y sódicos donde la conductividad eléctrica es mayor de 4 mmh os/cm, los valores de pH menores de 8.5 y la acumulación de sodio intercambiable mayor del 15% con relación al resto de cationes intercambiables.

Efectos de las sales durante el desarrollo fisiológico de las plantas.

El desarrollo vegetal es una función del efecto total de la humedad del suelo y éste es la suma de la presión osmótica provocada por sales y de la tensión superficial con la que el agua es retenida por las partículas del suelo, es importante mantener estos estados en los niveles más bajos, para su adecuado desarrollo de las plantas. Ahora bien, la presión osmótica se hace bajar mediante el lavado de las sales y la tensión superficial se disminuye proporcionando al suelo la humedad adecuada.

Entonces, los efectos que producen las sales en el desarrollo de las plantas son:

- Aumentar la presión osmótica de la solución del suelo, realizando la planta un mayor esfuerzo para absorber el agua.

- Acumulación de iones que en concentraciones bajas causan toxicidad a las plantas, como el boro, litio, etc.
- Limitar la nutrición mineral de las plantas, ya que la presencia de sales inhiben su desarrollo.
- Se produce una deshidratación gradual de la planta (protoplasma) abatiendo su desarrollo fisiológico por el gasto de energía para absorber agua.

#### Mejoramiento de suelos con presencia de sales.

La recuperación de suelos salinos propicia el mejoramiento de sus condiciones físicas, químicas y biológicas para el mejor desarrollo de plantas e incremento del rendimiento potencial.

Actualmente, se cuenta con una metodología diversa para resolver estos problemas; en esta ocasión nos referimos a la información más elemental; se tienen procedimientos que se basan en procesos sencillos, siendo los siguientes:

#### Métodos físicos.

Se involucran prácticas agrícolas que eficientizan un manejo adecuado del suelo.

#### Métodos químicos.

Adición de sustancias y/o compuestos químicos, llamados mejoradores o correctores, que proveen calcio soluble reemplazando al sodio en la fracción coloidal; con ello, se neutraliza el pH y se hace reaccionar al  $\text{NaCO}_3$  libre. Estos a su vez se dividen en:

- Sales cálcicas solubles: yeso, cloruro de calcio, etc.
- Compuestos cálcicos de baja solubilidad calcita, dolomita, etc.
- Ácidos/formadores de ácidos: azufre, ácido sulfúrico, etc.
- Acondicionadores de suelos sódicos: CDR-186 ó Krillium, carbón, etc.

#### Métodos hidrotécnicos.

Mediante lavado y drenaje se eliminan sales presentes en la capa superficial y posteriormente del área afectada.

Con el lavado de suelos se remueven sales de la zona radicular, mediante agua de riego con ó sin el drenaje artificial. Existen resultados donde el lavado es un método excelente para suelos salinos y en cambio, en suelos salino-sódicos y sódicos es un complemento.

#### Métodos químicos hidrotécnicos.

Empleo de aguas salinas para recuperar suelos sódicos, utilizando principios de lavado y desplazamiento de sodio intercambiable para accionar la floculación del suelo.

#### Métodos biológicos.

Adición de materia orgánica al suelo y/o establecimiento de plantas.

Y por último, Método eléctrico

Procesos y principios electro-químicos como electro-diálisis, electro-ósmosis, que se producen al pasar corriente eléctrica en un suelo saturado provocando la desalinización y desodificación del suelo ó sea la remoción de sales.

Cabe mencionar, que el método a utilizar en este trabajo se comprende en los biológicos mediante la utilización de halófitas, en este caso Atriplex canescens.

#### Descripción

La planta de Atriplex canescens (Pursh) -- Nutt, se conoce al norte de la República Mexicana como costilla de vaca, chamizo y cenizo, es un arbusto siempre verde, erecto, ramificado, leñoso de 0.40 - 2.5 m de altura con hojas numerosas, alternas, sésiles o cortopetioladas, en forma de espátula, oblongas o lineales, raramente elípticas, con forma de cuña en la base y obtusa en el ápice, 1.5 cm de largo, 0.2 - 1 cm de ancho, una nervadura espesa, superficie densa, de color gris costroso arriba y abajo, (Gloria y Pérez 1982, Briton y Brown 1970). La floración ocurre de junio a septiembre, son dióicas, raramente monóicas, con espiguillas densas que terminan en panículas grandes.

#### Uso Actual

Para balancear la alimentación del ganado.

De la Cruz, (1979), estudió la utilización de la costilla de vaca Atriplex canescens, en la alimentación de conejos de la raza Nueva Zelanda.

La costilla de vaca puede utilizarse como estabilizador de suelos salinos, por su buen desarrollo y la absorción de sal por la planta reduce los niveles de salinidad en el suelo.

#### Tamaño de la Semilla

El tamaño de la semilla varía en la misma planta así como de una planta a otra y de un sitio a otro. En estudios realizados por Springfield

(1970), la longitud de la semilla varía de 2.2 mm a 09.4 mm y el grosor de las alas de 4.9 a 23.1 mm, el número de semillas por libra varía de 7,800 - 54,900 entre las semillas de ala y de 13,200 - 76,800 para las sin ala.

La semilla se produce en dos tipos de flores, una con orientación vertical de las brácteas y otra con orientación horizontal de las brácteas de la semilla, produciendo dos tipos de semilla, una pequeña dura, negra y otra grande y blanda de color café con diferentes características de longevidad y germinación.

#### Germinación

El contenido de cloruro de sodio en las brácteas de las hojas en niveles altos, puede impedir la germinación de semilla.

En estudios por Osmond, Bjorkman y Anderson (1980), con absorción de agua destilada, por las semillas y una solución de cloruro de sodio con potencial de agua de -21 bares, mostró que el incremento en peso verde se aumentó hasta el 70%, pero las que absorbieron agua destilada llegaron a 120%.

En la germinación ocurrió lo mismo, que las que absorbieron solución de cloruro de sodio tuvieron un 5% de germinación, las otras alcanzaron el 100%, todo esto en cuatro días, Beadle (1952), mostró que para 100% de germinación, en suelo nativo las especies de Atriplex requirieron el equivalente a 70 mm de precipitación pluvial.

La germinación también se afecta por los tipos de semilla; la semilla dura, pequeña y negra requiere menor cantidad de agua, tiene menor porcentaje de germinación, pero su longevidad es mayor mientras que en la blanda grande y café ocurre lo contrario.

La temperatura en la germinación es importante y Sharma (1976), obtuvo que la temperatura óptima para germinación fue de 20°C, con un porcentaje de germinación de 80% a 100% y con un potencial métrico de -15 bares.

El oxígeno también es factor importante, se calcula en base a concentración del mismo más la mitad en embrión de sinapsis fue deficiente para la germinación en los casos en que el agua satura las bracteolas de algunas especies, ocurre una restricción en el cambio de gases o sea de oxígeno y produce la inhibición de germinación.



## Habitat

La costilla de vaca es un arbusto, se encuentra en suelos con profundidades de más de un metro, se adapta a diversos tipos de suelos -- siendo más común encontrarla en suelos arenosos, areno-arcillosos, y franco arcillosos, salinos, calcáreos y alcalinos.

El desarrollo de esta planta ocurre en regiones con precipitaciones promedio de 220 mm -- (d) en adelante, aunque con 70 mm puede germinar.

Es tolerante a suelos con concentraciones -- medias y bajas en sales, la óptima concentración de cationes es de 50 meq/lt.

Su desarrollo ocurre mejor en suelos con pH superiores a 7.0, ya que en suelos con pH neutro su establecimiento es bajo, alrededor de 4.3%.

El contenido de minerales en la planta de -- costilla de vaca es el siguiente:

Minerales: fósforo 0.10 - 1.7%, calcio 0.6 - 1.49%, nitrógeno 0.9% y potasio 1.35%.

## Digestibilidad

García (1980) en experimentos de digestibilidad de materia seca "in vitro" con cinco especies arbustivas del género *Atriplex*, resultó que las especies *lentiformis* y *esponjiosa*, al primer corte fueron las que mostraron mayor digestibilidad de materia seca con valores de 85.6% y 84.5% respectivamente, mientras que la especie *halimus* -- presentó 82.5%, la *acanthocarpa* 82.8% y la *canescens* obtuvo 81.3% de digestibilidad "in vitro" -- de la materia seca.

Cordoba (1974), analizó la digestibilidad -- "in vitro" y la composición química de varios arbustos y hierbas en Nuevo México; dentro de las -- arbustivas se analizó el *A. canescens*, con una digestibilidad promedio de 77%: el análisis se realizó de mayo a julio; la costilla de vaca superó en su porcentaje de digestibilidad a las demás -- arbustivas.

## Consumo

Nasser (1977), menciona que *A. canescens* y -- otras especies de *atriplex* son el alimento de millones de animales cada año, de las regiones áridas y semiáridas del oeste de los E.U.A.

García (1981), observando los hábitos de consumo de las cabras, encontró que *A. canescens* tuvo mayor aceptación que otras especies de *atriplex* --

como *A. acanthocarpa*, *A. halimus*, *A. lentiformis*, siendo superada por gramíneas y hierbas.

## Utilización

*Atriplex canescens* tiene en promedio de 10 a 20% de proteína, en las partes consumibles por el animal siendo comparable con la alfalfa *Medicago sativa*. La paladabilidad de costilla de vaca es buena para vacas, cabras y ovejas y en algunas especies silvestres. Preliminarmente las pruebas de digestibilidad "in vitro" indican buena digestibilidad (63.5%), aunque algunas especies de -- *atriplex* han sido reportadas con altos niveles -- de oxalatos, especialmente en suelos salinos, *A. canescens* mantiene bajos niveles tóxicos aún con incrementos en salinidad del suelo. La biomasa -- anual es buena, cercana a la de alfalfa, su recuperación a la presión pastoreo es excelente, a esta planta se le puede remover dos terceras partes de los brotes sin que se afecte la recuperación, -- su recuperación en sequías prolongadas es excelente y la tolerancia es excepcional, sin reducir -- productividad.

*A. canescens* es común de México a Canadá, -- sobrevive a temperaturas sobre los 40°C en verano y resiste hasta -10°C en invierno.

En contenido de fósforo, los arbustos se consideran buenas fuentes de fósforo para el mantenimiento y gestación de animales en general, a menos que se encuentren en estado de madurez.

Arbustos como *A. canescens* no se consideran -- buenas fuentes de energía después que rebasan el -- estado fisiológico de fructificación.

*A. canescens* es consumida por cabras, ovejas, vacas y caballos, cuando otros alimentos escasean; los animales que más frecuentemente consumen esta planta son cabras.

## Toxicidad

En toxicidad se analizan niveles de oxalatos y taninos, y Davis (1971) observó que en niveles de oxalatos, las plantas de invernaderos mostraron valores cercanos a los tóxicos (8.7%), el promedio de estos porcentajes fue de 6.4, las concentraciones de oxalatos en los tejidos en crecimiento antes de la maduración (6-9 meses) en invernadero presentan niveles de oxalatos cercanos a los tóxicos, pero luego descendieron marcadamente cuando la maduración fué avanzando.

Las plantas muestreadas fuera del invernadero nunca alcanzaron los niveles tóxicos, ya que en agosto mostraron 3.9% y en diciembre decreció hasta 0.9%.

#### Descripción del área de estudio

##### Localización geográfica

El Campo Experimental Forestal "La Saucedá" se encuentra ubicado en el municipio de Ramos Arizpe, Coahuila, aproximadamente a 100 kms de la ciudad de Saltillo, dicho campo se localiza dentro de las coordenadas 25°51' de latitud norte y 101°10' de longitud oeste del meridiano de Greenwich.

##### Superficie

Tiene la forma de un transecto, aproximadamente rectangular de 12,500 metros de largo y 800 metros de ancho ocupando una superficie aproximada de 1,000 hectáreas.

##### Vías de comunicación.

Cuenta con vías terrestres y aéreas, en donde las terrestres las constituyen los caminos de terracería, que parten del kilómetro 70 de la carretera Saltillo-Monclova con rumbo Suroeste y la otra sobre el kilómetro 65 de la carretera Saltillo-Torreón con rumbo Noroeste, se comunica también por el ferrocarril Monterrey-Torreón en la estación de Saucedá que se localiza al Sureste del campo a 500 m aproximadamente.

Además, cuenta con una pista corta de aviación sobre un lomerío en meseta.

##### Geología.

Las regiones donde se encuentra ubicada el área de estudio queda comprendida en las provincias geológicas denominadas Península de Coahuila, Golfo de Saginas, Cuenca de Parras, sistema orogénico transversal Torreón-Saltillo y Sierra Madre Oriental.

##### Geomorfología.

A nivel de micro-región, se localiza en el flanco oriental de la Sierra de la Paila, que en conjunto con la de la Palma, constituyen una sola estructura.

La máxima altitud topográfica dentro de la zona de estudio (2,600 msnm) se localiza en el punto topográfico denominado corazón del toro.

##### Topografía.

El campo está establecido bajo un transecto altitudinal de Noreste a Sureste en el flanco oriental de la Sierra de Paila, posee una forma de una franja de 12.5 km de largo por 800 m de ancho.

La pendiente en la cima varía de 2 a 3% y el 15 a 45 y en las laderas de las mismas mesetas la altura varía de 1,400 msnm en las mesetas altas, las medias con 1,300 msnm y las bajas con 1,250 msnm.

##### Hidrografía.

La zona de la Saucedá, queda dentro de la cuenca hidrológica del arroyo de patos.

Específicamente dentro de la subcuenca del arroyo del mimbre.

##### Vegetación.

La vegetación existente en el campo, es representativa de los principales tipos de vegetación en las zonas áridas de México y se puede distinguir básicamente las siguientes comunidades vegetales.

Matorral Inerme Parvifolio, formado por especies arbustivas de porte bajo y con ausencia de espinas.

Matorral Crasirosulifolio Espinoso, éste se caracteriza por la dominancia de especies crasas, arbustivas, de porte bajo y con sus hojas dispuestas en forma de roseta.

Bosque Oligocilindrocaule Rosulifolio, vegetación por especies con tallo cilíndrico sin ramificaciones en la base y con hojas dispuestas en forma de roseta, su principal componente es la palma samandoca Yucca carnerosana.

##### Clima.

El Campo Experimental, cuenta con una estación meteorológica en donde se han registrado por un período de 15 años los siguientes rubros:

Temperatura; las altas registradas en los últimos años es de 42.3°C, en los meses de abril a octubre, las mínimas de -17°C en los meses de enero a marzo, la temperatura media en este período es de 18.9°C.



Lluvias; la distribución es muy errática — pero por lo regular estas se presentan en los — meses de mayo a septiembre, se han registrado — años con pocas lluvias casi del total de precipi— tación anual, esto quiere decir, que son de ori— gen torrenciales, la precipitación media es de — 193.71 mm.

Evaporación; ésta se presenta con mayor in— tensidad en los meses que registran las más al— tas temperaturas que son los de abril, mayo, ju— nio y julio. La evaporación promedio es de 2,644. 71 mm.

Heladas; por lo regular se presentan en los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero y las últimas en marzo.

Granizo; son muy reducidas las ocasiones en que se han registrado granizadas en dichas áreas y cuando esto ocurre se presentan en los meses — de mayo, junio y julio.

Nevada; éste fenómeno es de importancia me— dia, ya que se han presentado nevadas irregula— res en los últimos 15 años y cuando se han re— gistrado son en los meses de noviembre, diciem— bre, enero y febrero.

Vientos; por lo regular la dominancia la — tienen los vientos del Sureste (SE).

#### Clasificación del clima.

El clima predominante en el Campo Experimen— tal Forestal "La Saucedá", es el muy seco o muy árido que de acuerdo a la clasificación climáti— ca de Koppen modificada por García, pertenece a la fórmula B''hw (E).

#### METODOLOGIA

El presente trabajo se desarrolló de acuer— do a las experiencias de estudios que se tienen respecto a la especie de *Atriplex canescens*, — los cuales nos muestran que representa una alter— nativa viable para lograr con mayor éxito el esta— blecimiento de una cubierta vegetal perenne — siempre verde y con alto contenido de proteínas.

La metodología que se utilizó fue basada en resultados de las diferentes líneas de investi— gación, desarrolladas por el INIFAP, en donde — nos establece que para el mayor aprovechamiento — de las escasas y erráticas precipitaciones ocu— rridas en estas áreas, se realice el desmonte y paso de rastra como labores culturales, poste—

riormente se trazaron curvas a nivel para el le— vantamiento de bordos en donde la distancia entre ellas estuvo determinada por la fórmula del inter— valo vertical, acto seguido se realizó el surcado en contorno, y por último la plantación en donde la distancia entre plantas es de 1.5m y de 1 m — entre surcos obteniéndose una densidad de 6600 — plantas por hectárea.

El material vegetativo fue producido en el vivero Arroyo de Patos perteneciente este al — Campo Experimental Forestal "La Saucedá", en don— de se seleccionaron individuos de altura y feno— logía similar para poder tener una mayor unifor— midad en la plantación, esto se realizó en el — mes de junio y julio del 84, precisamente en la época de lluvias.

Asimismo, con la finalidad de determinar pro— ducción de forraje en la plantación, se realiza— ron cortes de un 25 - 30% de la altura total de la planta después de 2 años de haber ocurrido la plantación, mismos que se realizaron dos veces — al año, uno durante el verano, y otra en invier— no, y paralelamente a esto, se realizaron mues— treos de suelo cada año, en donde se evaluaron — las características físico químicas y morfológi— cas del recurso suelo.

#### RESULTADOS

En lo que respecta al rubro de suelos se — realizó una evaluación de los resultados de la— boratorio en donde se detectó que para el año — de 1984, fecha en que se realizó la plantación, el suelo se caracterizaba por el alto contenido de sales, y sus contenidos de por ciento de sodio intercambiable eran datos que no representaban — problemas serios de sodicidad, la fertilidad del suelo era baja y suelos de textura mediana, para el segundo año el del 85, se registró un conside— rable descenso en lo que respecta a la conducti— bilidad eléctrica, el cual nos indica una perco— lación de sales a horizontes más profundos y ade— más nos indica que las demás características se mantuvieron estables en su mayoría, en el 86 se determina una modificación mínima en el pH del — suelo y por ciento de fertilidad del mismo, pero en cuanto a la conductividad eléctrica si se en— contró una considerable disminución del porcenta— je de sales en los primeros 40 cm de profundidad, por último se determinó una estabilidad en lo que respecta al pH y un ascenso, aunque no de gran significación de materia orgánica, pero cabe men— cionar que si se registró la diferencia signifi— cativa del descenso de sales en el suelo, de —

acuerdo al período de observación se determinó - que se encontró de la fecha de establecimiento - a fines del trabajo, una diferencia de cuanto a la conductividad eléctrica de 1.41 mmhos cm, lo que significa que el porcentaje aproximado de extracción o remoción de sales en los primeros 40 cm es de 25% aproximadamente.

Y en lo que concierne al parámetro de producción de materia seca, se obtuvo en la última evaluación un promedio de 500 gr/planta en el primer corte realizado en verano, y un ligero descenso en la producción en el corte ocurrido en invierno a razón de 350 gr de materia seca por individuo. Esto debido a que la fenología de la planta que muestra mayor desarrollo en el verano que en el invierno, de acuerdo a las estimaciones realizadas se determinó que la producción promedio de materia seca por planta a razón de 800 gr, la cual nos arroja una producción estimada de 5280 kg/ha/año de materia seca. Cabe mencionar que esta producción se registró con individuos de una altura promedio de 1 metro y una cobertura de 200 m<sup>2</sup>.

#### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Por lo anteriormente expuesto se concluye que el realizar plantaciones de Atriplex canescens en suelos con altos contenidos de sales, muestra la alternativa viable para la utilización de estas tierras que hasta hace tiempo se consideraban casi improductivas, debido a que dicha especie posee la capacidad de extracción o remoción de las mismas, y a la vez mejorando la capacidad forrajera del área reforestada.

#### REVISION DE LITERATURA

- Beadle, N. C. 1952. Studies on halophytes. The germination of seeds and establishment of the seedlings of five species of Atriplex - in Australia,. Ecology. 33:49-82.
- Britton, N. L. and H. A. Brown, 1970. An illustrated flora of the northern states and Canada. 2a. Ed. Vol. II Dover. Publications, Inc. New York,.
- Cordoba, F. J. 1974. Chemical composition and in vitro digestibility of some browse and forb species of southern. New Mexico. Thesis Master of Science Animal Science. New Mexico State University, Las Cruces New - México.
- De la Cruz, N. F. 1979. Utilización de Prosopis juliflora glandulosa, Atriplex canescens, Cucurbita foetidissima y Yucca filifera para la alimentación del conejo de la raza Nueva Zelanda. Ciencia Forestal. Revista del INIF. No. 19. Vol. 4. Mayo-Junio.
- Davis, A. M. 1979. Forage quality of Prostrate - Kochia compared with three browse species. Agronomy Journal. Vol. 71 Sept-Oct. pp. 822-824.
- García, Castro, J. L. 1981. Hábitos de consumo y comportamiento de las cabras en una pastura de Atriplex Tesis Ingeniero Agrónomo Zootecnista. UANL. Monterrey, México.
- García, Corona, R. 1980. Digestibilidad "in vitro" de cinco especies arbustivas del género Atriplex. Tesis Ingeniero Agrónomo Zootecnista. UANL. Monterrey, México.
- Lara, G. G. J. 1984. Estudio semidetallado de las principales familias de suelos que integran el Campo Experimental Forestal "La Saucedá" Coahuila. Tesis Profesional UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México.
- Martínez, C. A. 1987. Comunicación personal. San Luis Potosí, México. Septiembre.
- Nasser, N. 1977. Comparative Palatability of - - Atriplex canescens. Journal of Range Management. 30 (5) 368-369.
- Osmond, C. B.; O. Bjorkman and O. J. Anderson. 1980. Physiological processes in plant ecology. Toward a synthesis with Atriplex. Springer Verlag Berlin. Heidelberg. New York.
- Sharma, 1976. Citado por Springfield, H. W. 1970. En Germination and establishment of fourwing salt bush in the southwest, USDA. Forest Service Res. Rep. RM. 55.
- Springfield, H. W. 1970. Germination and establishment fourwing salt bush in the southwest. USDA. Forest Service Res. Rep. RM. 55.



245

# Overpopulation, Desertification, Famine<sup>1</sup>

M. Anaya Garduño<sup>2</sup>

---

**Abstract.**--Desertification includes natural or induced processes. Poor nations suffer the greatest erosion problems. Properly planned long-and-short-term management of natural resources through appropriate technology is crucial. Community participation is also of great importance, because the fight against desertification involves improving living conditions in areas affected by misery, unemployment and underdevelopment.

---

Over the course of human development the rise and fall of several civilizations has been intimately tied to the productivity of the land.

Some natural factors, like undesirable cultural practices and increasing population pressure, have provoked the impairment and destruction of the land's biological potential, reducing plant and animal productivity, and bringing on desertic conditions.

Many countries in Africa, Asia and Latin America are threatened by the dynamic deterioration of their natural resources. In some of them famine has already struck.

Desertification includes natural or induced processes which destroy the equilibrium of soil, vegetation, air and water systems. It is more pronounced in areas with a strong climatic or edaphic aridity, and constitutes a serious social and economic threat...desertification is a global expression of several processes.

Physical and biological soil damage may be caused by the misuse of natural resources or the foibles of nature.

There are seven processes which cause desertification: deterioration of the vegetation cover...hydric erosion...eolic erosion...salinization...organic matter loss...crusting and soil compaction...and the accumulation of toxic substances in plants and animals.

---

<sup>1</sup>Paper presented at the "Simposium" Estrategias de Clasificación y Manejo de Vegetación Natural para la Producción de Alimentos en Zonas Áridas". Tucson-Arizona, E.E.U.U.; 12-16 October, 1987.

<sup>2</sup>M. Anaya-Garduño, Research Director, Soils Department, Graduate College, Chapingo, México.

Arable land in the world comes to about 1.4 billion hectares, 21 million of which deteriorates each year with a total surface soil loss of 68,493 tons. Since the surface layer is the most fertile one, arable land is drastically and continuously reduced. In addition, 3 million hectares of non arable soil are lost every year.

World population increases by 80 million per year, so there is a constant challenge to rise unitary yields of basic grains to satisfy the growing demand for food products.

Estimates place the world population at 6.35 billion people by the year 2000, with a total cultivated area of 2.0 billion hectares under rainfed conditions and 302 million hectares under irrigation.

By then arable land in industrialized nations will amount to point four five (0.45) hectares per inhabitant, whereas developing countries will have at their disposal only two tenths of a hectare per person. This means that average basic grain yields will have to reach at least 2 3/4 tons per hectare to cover the demand for food.

Poor nations suffer the greatest erosion problems, and high population pressure, low availability of staple foods and low gross national product make Africa, Asia and Latin America the most critical areas.

Many nations hard hit by desertification lack integral planning for agricultural activities in rainfed, irrigated, pasture and forest land, resulting in the physical and biological destruction of these ecosystems.

Several African, Asian and Latin American nations have upwards of 60% of their population in rural areas. This means that they depend mainly on agriculture, animal husbandry, and forestry for their livelihood.

The United Nations Environmental Programme estimates that 80% of the World's livestock areas are overgrazed, causing erosion and a consequent reduction in productivity.

Each year 1.8 billion cubic meters of trees are cut down for firewood world wide, equivalent to the energy of 5.5 million barrels of oil.

In South America, 83% of the rainfed areas show some degree of erosion, 23% of the irrigated areas have salinity problems, and 84% of the pasture lands are overgrazed.

In spite of possessing enough hydraulic resources, Latin America has several extremely arid zones, such as the Altar Desert of Mexico and the coastal deserts of Peru and Chile.

In Mexico, arid and semi-arid zones account for 56% of the national territory. There 10 million farmers have little possibility of working the land they were born on, and every year 600,000 move to urban areas.

About 150 million hectares of Mexican land roughly 75% of the national territory-shows some degree of desertification. From 150 to 200 thousand additional hectares are spoiled each year.

Among the many factors which produce desertification in Mexico, political decisions made solely in the interest of urbanization and industrialization take a heavy toll.

Mexico currently farms 22 million hectares of its land, 75% under rainfed conditions. This is a potentially dangerous situation since, given the projected population of 110 million by the year 2000 and an upper limit on farmable land of about 25 million hectares, the country will have an average of only .23 hectares per capita at its disposal. If adequate measures are not taken, famine will surely result.

Enlisting technology in the fight against desertification is not easy. In regions with high population densities for example, the education and organization of local producers often proves so difficult as to be an insurmountable obstacle to new agronomic practices.

Properly planned long-and short-term management of natural resources through appropriate technology is crucial.

Community participation is also of great importance, because the fight against desertification involves improving living conditions in areas affected by misery, unemployment and underdevelopment.

No technology system, sophisticated or practical, will ever work unless special attention is given to education and training programs.

The selection and application of technology will depend on communities educational levels, as

well as the money, time and quality technical personnel available for restoring affected lands

Three basic principles should govern the choice of technology to be used:

\* First, the least affected production systems should be salvaged immediately, especially where severe financial limitations exist. In this way, relatively small investments will show good returns fairly soon. These in turn can be reinvested in more seriously affected areas, thus achieving a gradual improvement in productivity;

\* Second, the use of intermediate technology should be stressed. since developing countries frequently have a reduced industrial capacity, poor transportation networks, credit limitations, and a development level which makes introducing advanced technology difficult.

\* Third, traditional technology and community developed systems should be taken advantage of before introducing new land management techniques.

Even with careful application of both modern and traditional techniques, the soil may still suffer damage. This deterioration may result in one or several of five conditions: water scarcity, poor irrigation water exploitation, a reduction in the vegetation cover and animal productivity, scarcity and misuse of energy sources, and soil erosion.

Rainfed areas with sloping terrain should take four basic steps in order to establish permanent production systems; first, control erosion; second, maximize rainfall utilization; third, improve soil fertility; and fourth, select the crop best to the given circumstances.

Rainfall utilization is an important way to fight desertification. Large scale application of available techniques is required to achieve optimum water use.

Runoff management is one of the most promising options. The ancient Nabateans of the Negev Desert in Israel were able to produce several crops in areas with only 100 mm of annual rainfall, using careful management techniques.

Recently, runoff control management has been used in Israel, Tunisia, Australia, India, China, the United States and Mexico, augmenting yields of basic grains, vegetables and fruit trees.

Runoff control, canalization into small streams and water harvesting techniques help reduce erosion and improve water use efficiency.

The Nabateans also produced several crops in terraces and designed their own water harvesting systems.

Most 20th-century nations have already begun soil conservation programs; many with promising results for reducing erosion under different production systems.



However, in some areas soil is being constantly eroded, especially where desperate people driven by hunger overexploit pasture and forest lands.

In order to prevent the advance of desertification, producers must be convinced of the importance of rational management of livestock and forest production in order to protect the vegetation cover.

Desertification in pasture lands can be avoided by a combination of several practices; for example: reseeding, fertilization, adequate grazing pressure and a good distribution of watering points to avoid excessive animal concentrations.

These practices have been successfully combined with crops systems under diverse social, economic and technological circumstances.

Unfortunately, rather than establishing well-defined production units, land tenure systems have encouraged overgrazing in pasture lands and actually blocked suitable management.

There are many places where the vegetation cover has been destroyed by over harvesting timber and firewood. In this way, man himself thwarts his best defense against desertification.

A better tactic would be to plant fast growing trees as a barricade against eolic and hydric erosion.

Other strategies to attack encroaching desertification may be suggested;

- Establishing long-and short-term programs in forest zones, pasture lands, rainfed and irrigated farmlands and areas under nomadic cultivation. Other land use systems are roads, national parks, human settlements and mines.

- Employing the watershed as an ecological and production unit concerted action by communities, technicians and institutions.

- Promoting a national and international technological information network to allow the effective exchange of experiences from diverse social, economical and ecological backgrounds.

- Concentrating on intensive use, deterioration prone sites, as well as identifying obstacles to proper practices and development.

- Establishing pilot areas of diverse ecological conditions where education, demonstration and research aspects are considered. These areas can also be used as training centers to help pass on experience obtained in similar areas. Watershed management, soil conservation and water harvesting are important topics to be covered.

- Promoting collaboration between scientists and technicians from all areas of study, as well as national and local planning to fight desertification.

By the year 2000, there will 6.35 billion human beings on this planet.

Each and every one of us will require food and acceptable living conditions.

However, if our natural resources continue to be squandered Earth will soon be nothing more than a lifeless desert incapable of providing for our basic needs.

The battle against nature and man himself is an uphill one; yet, all is not lost, hope of victory remains, through the joint efforts of communities and nations to save our children and millions of others from a future of misery, poverty, famine and death.

245

# A Strategy for Reversing Desertification<sup>1</sup>

Champe Green<sup>2</sup>

The solution to the riddle of desertification has eluded mankind for at least 7,000 years, since the dawn of agriculture. However, the recent advancement of four paradigms have shed new light on ways to slow or reverse desertification. A holistic management planning model has evolved that offers scientists and tribesmen alike a tool to check desertification while improving the quality of human life.

## INTRODUCTION

As we near the end of the 20th Century, we as scientists and land stewards are still fighting a problem that is as old as agriculture itself---desertification. The stakes have never before been higher in this perennial struggle, as many of the earth's natural systems are presently in danger of being pushed past critical levels of stability---at stake now is nothing less than the future habitability of the earth (Brown and Postel 1987).

Desertification: Tolba (1984a) coins the word to describe land degradation in arid areas. But overall, there is little agreement amongst authorities over the meaning of the term. Some view desertification as a linear cause and effect phenomena, being the result of certain events---i.e., climatic change, overgrazing by livestock, overcultivation, or deforestation. Others don't recognize desertification as having occurred until some indicator species has disappeared or become established. Finally, there are those who recognize the need to view desertification as a process that expresses early warning symptoms such as increased soil surface exposure and soil erosion and decreasing organic matter levels. These early warning signals mature into increased incidence of drought and flood, complete shifts of plant and animal communities, decreased land productivity (which is often masked by petrochemical infusion and/or mechanical

treatments), sand dune encroachment, starvation, social unrest and war. It is this latter concept of desertification as a process that can be predicted, detected and reversed quickly that will be the focus of this paper.

## HISTORY

Agriculture had its origins some 7,000 years ago in the plains of Mesopotamia and the Valley of the Nile. The ancient (and until recently, buried) cities of Kish and Babylon, once great centers of empires in Mesopotamia, collapsed not so much from invading armies as from silt that filled their irrigation canals. Ultimately, the cities themselves were buried under desert sands. Mesopotamia was to see at least 11 empires similarly fall as a result of failure of canal irrigation systems due to siltation. These siltation-caused failures of empire after empire are suspected to be closely linked to disruption of dredging efforts by nomadic invaders from hinterland grassland and desert (Lowdermilk, 1953). One can strongly speculate that the desertification process occurring on these hinterland watersheds not only helped fill canals near the settlements with silt but prompted the grassland and desert inhabitants to invade those alluvial plains settlements in search of food. Why were the watersheds, the Achille's heel of any civilization, deteriorating, as they apparently were?

Similar events unfolded in the Holy Lands, which Moses characterized as "flowing of milk and honey", but today, sadly, a landscape gutted by erosion. In Syria and Lebanon, man-made deserts sprouted and now abound as unabated erosion continues under the poor stewardship and constant conflict between grazing and farming cultures.

Once the granary of the Roman Empire, North Africa today is covered by vast deserts; fully one-half of the grain supplies for the region are

<sup>1</sup> Paper presented at the U.S.A./Mexico symposium on strategies for classification and management of native vegetation for food production in arid zones. [Tucson, Az., October 12-15, 1987].

<sup>2</sup> Champe Green is Regional Director, [Center for Holistic Resource Management, Albuquerque, N.M.]



now imported, and high food prices have led to riots and demonstrations in the streets of Morocco, Tunisia and Egypt (Brown and Postel, 1987). Why the dramatic decline? Was it simply a matter of overgrazing caused by too many stock, or was it something else we haven't yet understood? Lowdermilk (1953) discounts the climatic change theory, citing the presence of olive trees 1500 years old that survive alongside thriving young, planted trees.

Countless other desertification tragedies are written on the face of the land: from yesteryear's destruction of North China's watersheds (which continues unabated) leading to millions being swept away by "China's Sorrow", the Yellow River, to today's seemingly unstoppable desertification in Mali, Sudan, Chad, Niger, the United States, and the list goes on---Worldwide, some 15 million people are perishing from starvation each year (Capra, 1982). Some 67 million acres are deteriorating each year, adversely affecting approximately 850 million people (Tolba, 1984b). This century will go down in history as one in which more people died of starvation than in the sum total of recorded time. The problem is so great that in many countries, coping with its economic consequences has become a full time challenge (Brown and Wolf 1986).

In my home state of New Mexico, the Rio Puerco Basin, roughly an hour's drive west of Albuquerque, was referred to as the breadbasket of New Mexico at the turn of the century. Sheridan (1981) characterizes the area now as the worst eroding river basin in the west. Despite seven decades of livestock reductions, massive range reseeding, contour ridging and dam building efforts, all at tremendous cost, the Rio Puerco Basin remains unstable, with some arroyos widening by 50 feet/year. Consequently, the Rio Puerco, though supplying only 10% of the water volume to the Rio Grande, contributes over one-half of the silt load (Sheridan 1981). With abandoned villages dotting the land, one must wonder how an area that once must have been high in soil fertility and organic matter as to be called the bread basket of New Mexico could desertify so quickly. Even more puzzling is the observation that 50-year old rested exclosures look little different from adjacent land supporting livestock today (see fig. 1).

The Rio Puerco Basin is but one example of severe and apparently unstoppable desertification occurring in the U.S. Dregne (1977) estimated that 225 million acres in the U.S. have experienced severe or very severe desertification. The actual acres threatened by severe desertification are about twice that amount. These figures may be conservative if they are based on conventional range assessment techniques.

A "Catch 22" situation is drawn to light from this historical look at the nagging perennial problem of desertification. After 7,000 years, it has become apparent that we haven't understood the problem, but have only reacted to symptoms as the problem worsened. Many have taken to blaming the



Figure 1.--Fifty year old exclosure near Cabezón, NM. Note moribund remnant grasses and lack of seedling establishment. Photo by Champe Green.

worldwide population boom as the real culprit of land degradation. Yet many civilizations, such as the Anasazi at Chaco Canyon, New Mexico and other civilizations previously mentioned in this paper were not heavily populated cultures; nonetheless, their communities and agriculture collapsed. Today, New Mexico is desertifying as badly as anywhere in the world (Savory 1985b), yet there is virtually no one living out on the land; the bulk of the state's population live in four cities. These ironies point not to population as the scapegoat for land deterioration, but possibly to something much deeper.

Similarly, in analyzing the land degradation nemesis from a different perspective, Savory (1986) summarizes in Table 1 the "known" causes of environmental deterioration in Africa, and alongside has shown the antithesis of these causes as are found in the state of Texas (Texas was used as a comparison because of its predominantly private land ownership). Conclusively, one would expect to find minimal, if any desertification occurring in Texas. Tragically, as early as ten years ago, Dregne (1977) described the western half of Texas as suffering from moderate to severe desertification. In recent years as many as 200 farm or ranch families a week have left the land.

Capra (1982) cites a 1979 Washington Post story entitled "The Cupboard of Ideas Is Bare," in which prominent intellectuals admitted they were unable to solve the nation's most urgent policy problems (economic decline, crime, resource degradation, etc.). One of the "mainstream" academicians interviewed stated that he was resigning his chair because "I don't have anything to say anymore. I don't think anybody does. When a problem becomes too difficult, you lose interest."

At this point, it is perhaps appropriate to question if in fact the desertification process and its subsequent effects of poverty, starvation, economic collapse, crime and war are not all parts



## AFRICA / TEXAS



- High Rural Populations
- Overstocking with Livestock
- Overcutting of Trees
- Bad Run of Droughts
- Cultivating Unsuitable Soils, Steep Slopes, Etc.
- Low General Education of Farmers
- Poverty
- Communal Tenure of Land
- Shifting Agriculture
- Insufficient Fertilizers, Herbicides, Machinery, Etc.
- Poor and Somewhat Corrupt Administrations
- Inadequate or No Extension Services

- Very Low Rural Populations
- Little or No Overstocking
- Massive Brush Eradication Programs
- No Run of Droughts
- Flat Land State
- Thousands of Graduate Farmers
- Extreme Wealth
- Private Tenure and Deep Love of Land
- Stable Agriculture
- Massive Availability of Chemicals and Machinery
- Large Bureaucracy, Low Level of Corruption
- Large University and Government Extension Services

Table 1.--Summary of "known" causes of land degradation in  
-----Africa contrasted with present conditions in Texas.-----

of the same problem---that problem being a heretofore lack of knowledge and understanding of four recently discovered concepts that have ultimately tied together humans, their values, goals and economics and the soil surface into a whole ecology.

### REVERSING DESERTIFICATION

The human mind can only entertain two or three notions simultaneously. Our minds need some sort of aid to allow us to handle the many variables that interact in resource management. As Aldo Leopold (1949) stated in A Sand County Almanac, "The outstanding scientific discovery of the twentieth century is not television, or radio, but rather the complexity of the land organism." Add to this "complexity" the powerful concepts emerging from the field of organization development with regard to human values and social customs; further throw in the necessity in most cases of generating wealth, and it becomes apparent that what we lacked in our search for solutions was a way to look at the wider implications of various decisions before we made them--- a way to view any aspect in its relationship to the whole being managed.

### The Holistic Resource Management Model

Holistic Resource Management (HRM) was developed specifically to meet this need. It rests on 30 years of rigorous testing and practice in Africa and the United States on private ranches and farms, public and tribal lands, national parks and refuges. It is applied through a planning "model" (see fig. 2) which helps one structure his thoughts in order to cater for many variables. Application begins with the establishment of a 3-part goal, without which the model becomes inoperative and holistic management compromised. To achieve this goal, a determination is made as to

what level the ecosystem blocks must function. Under eight headings the HRM model incorporates all tools available to manage the ecosystem to achieve the goal. Then, it provides guidelines which force one to think through the variables that may be involved and to select the best of numerous options. Once a decision is made, there are further guidelines that help one apply the tool in the right way. Practice is always governed by a careful plan-monitor-control-replan procedure which reduces risks and prevents serious mistakes.

The HRM model can be applied in four different modes: management; policy analysis; diagnostic and research orientation.

### The Goal

If the model is to be effectively used to halt desertification worldwide, in a nation, or on a farm or ranch, the three part goal must be attuned to the social structure, social processes and cultural history of the people(s) involved. A sense of having "had a hand" in the development of goals is imperative if success is to be ensured and land degradation minimized. International development and assistance programs are now influenced by the realization that perhaps the greatest contribution that can be made is facilitating the discovery by the people affected as to what they really want. Gone are the days of an expert or team of experts defining a single technological solution to agricultural production woes while remaining ignorant of or callous to the environmental and socioeconomic complexities that are likely to be present. The well intentioned Rockefeller sponsored research program that began in Mexico in 1940 and the Green Revolution to which it gave birth perhaps pointed out the problems with that approach most markedly to date (Wright 1984). Similarly, the exodus of farmers and ranchers off



# HOLISTIC RESOURCE MANAGEMENT MODEL

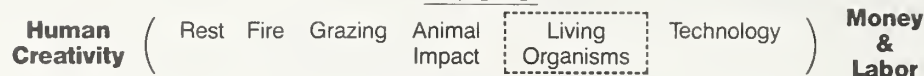
## GOAL

QUALITY OF LIFE  
PRODUCTION AND LANDSCAPE DESCRIPTION

## ECOSYSTEM BLOCKS



## TOOLS



## GUIDELINES

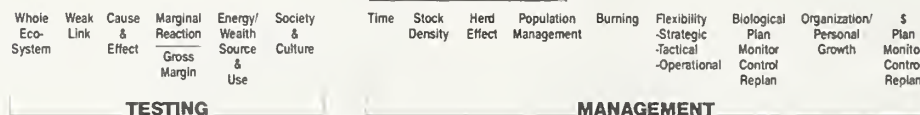


Figure 2.--The Holistic Resource Management Model.

the land in the U.S. may be due in part to the typical top-down hierarchical structure where lack of attention to and participation in goal setting is minimal, thereby hindering real commitment and creativity.

The first part of the three-part goal necessitates a definition of the quality of life desired. Wendell Berry (1979) maintains that agriculture must produce much more than crops, it must produce healthy, happy families, stable rural communities, low crime and other sociological wants and desires. The quality of life component of the goal furnishes an umbrella vision which strongly influences the remaining components of the goal.

The production part of the goal addresses what is to be produced from sunlight energy to achieve the quality of life so desired. It may be for profit, aesthetic or cultural reasons, as the case may be, but always in the broad sense of the whole and not in a narrow focus such as eliminating a problem plant or producing so much yield or so heavy a calf.

The landscape description component of the goal simply defines a futuristic vision of what the ecosystem will have to look like to sustain the production and quality of life components over time.

### The Ecosystem Blocks

If the goal is to be achieved, whether it be for a state or nation, or an individual ranch, the level of functioning of the whole ecosystem will determine the degree of success. While all ecosystem processes are interrelated, for

conceptualization purposes, the ecosystem is broken into four fundamental processes. The effectiveness or ineffectiveness of the water cycle and mineral cycle, the level of successional communities of plant and animal life and the level of sunlight energy captured and converted by the land are all defined separately relative to the landscape description specified in the goal.

All ecosystem processes are functions of a very basic premise in ecology: the management of the soil surface. It is on this important concept that I would beg to differ with the title of this symposium, "Strategies for...Management of Native Vegetation for Food Production..". I would insert "soil surface" in place of "native vegetation," for it is how mankind treats the soil surface that determines his ability to achieve his production goals for food. The collapse of empire after empire addressed earlier in this paper attests to the importance of management of the soil surface.

### The Tools

Three broad categories of tools exist which can be applied to influence the ecosystem. The "land" tools of rest, fire, grazing, animal impact, living organisms and technology are applied through the vehicles of human creativity, money and labor. Under these headings fall all the tools known to man.

Rarely does any tool act solitarily on the ecosystem. Rather, two or more tools may be in operation simultaneously, exerting ripple effects indistinguishable from those of either tool in isolation. By understanding the tendencies of the tools to affect each other and the ecosystem, we can choose the appropriate combinations to achieve our goals.

## The Guidelines

The guidelines of the model serve the same functions as the feedback mechanisms of an airplane. Any time one uses the tools of an airplane (ailerons, flaps, throttle, rudder, etc.) contrary to the four principles of flight, noise and visual alarms are activated. The six "testing" guidelines of the HRM model perform a similar function by warning you if your application of the tools is not the most ecological, economical and culturally acceptable path toward achievement of your goals. Similarly, the remaining "how to" or management guidelines are like the various gauges of an airplane in that they direct you back on course and assist you in properly planning, monitoring and controlling the continued flight of the aircraft. The guidelines are a rapidly developing part of the model due to the experience and knowledge gained in holistic management by scientists and land stewards worldwide.

## THE MISSING KEYS

The HRM approach using a planning model is the culmination of four new discoveries made over the past 60 years. Much controversy has surrounded HRM, as virtually every one of the four discoveries has gone against an existing belief system. Historically, the path of a new idea runs the gamut from persecution and ridicule, through controversy, to universal acceptance (Boorstin, 1983). Witness Galileo's house arrest for years as punishment for validating Copernicus' work that the Earth was not the center of the Universe, but orbited around a minor star in but one solar system. Today, belief that the Earth is the center of the Universe would be greeted with belittlement.

Three of the missing keys deal directly with the desertification of the world's watersheds in arid and semi-arid lands (encompassing an estimated 75% of the terrestrial surface of the earth). The fourth concept, holism, made the development of a management model imperative to ensure sound resource management (Savory 1985a).

## Holism

Dating from Descartes and Newton, some 300 years ago, the scientific approach became fragmentary and reductionist, espousing the belief that all aspects of a complex phenomena could be understood by reducing them to their component parts (Capra 1982). This reductionist approach has resulted in some spectacular advances in such areas as transportation, communications, medical technology, defense systems, etc. However, in the total management of natural resources which involves human values and more, the approach has failed miserably, resulting in massive starvation, land deterioration, exhaustion of fossil fuels, social unrest and conflict (Savory 1987).

From the basic divisions of earthly things into life, matter and mind came thousands of disciplines. Under the reductionist approach, each discipline developed its own jargon, professional societies, professional jealousies and an increasingly narrow focus in an effort to better understand the whole. Ultimately, this type of thinking has led to statements such as one heard by this author from a prominent agronomist at a major midwestern land-grant university, that "the only connection between any of the departments at my university is the plumbing system." The logical next steps beyond reductionism have been multidisciplinary and interdisciplinary approaches. However, experience is showing that, however well intentioned, this combination of reductionist viewpoints remains reductionist.

Jan Smuts, general, scholar and a founder of The League Of Nations first advanced the concept of holism in 1926 in his book Holism and Evolution. Smuts' concept of holism suggested that there are no parts in Nature, only wholes and interrelationships. Any sustainable success by man in managing the ecosystem will depend on his ability to understand these interrelationships.

Upon gaining insight from Smuts' work on the need to apply holism in management, it became necessary to develop a simple and practical "thought" model---which today stands as the Holistic Resource Management model. This enables a manager to manage resources from a holistic (rather than reductionist) point of view.

## Brittle and Non-Brittle Environments

Typically, terrestrial environments have been classified as savannah, prairie, desert, tundra, grassland, temperate and tropical forest, etc. These biome classifications have been based on predominant vegetation types occurring due to rainfall amount and edaphic factors.

Savory (1985b) has shown that there are two broad types of environment that have little to do with rainfall amount, but instead are characterized by reliability and regularity of precipitation, as well as speed of decay process (see Table 2 for complete criteria). There are no absolutes on the continuum between brittle and non-brittle environments, only tendencies. An environment tends toward brittleness, for example, if the decay process is slow, mechanical (weathering) and oxidative. Brittle environments are very susceptible to desertification processes, while environments tending toward non-brittleness are more resilient to prolonged periods of abuse and misuse.

The concept of brittle and non-brittle environments is crucial to understanding desertification and thus, its remedy. If the nature of brittle environments is not understood, then man's ignorance accelerates desertification as we try to remedy it; our solutions become part of the problem (Savory 1985b).



# NON-BRITTLE vs. BRITTLE ENVIRONMENT

Using a Scale of 1-10

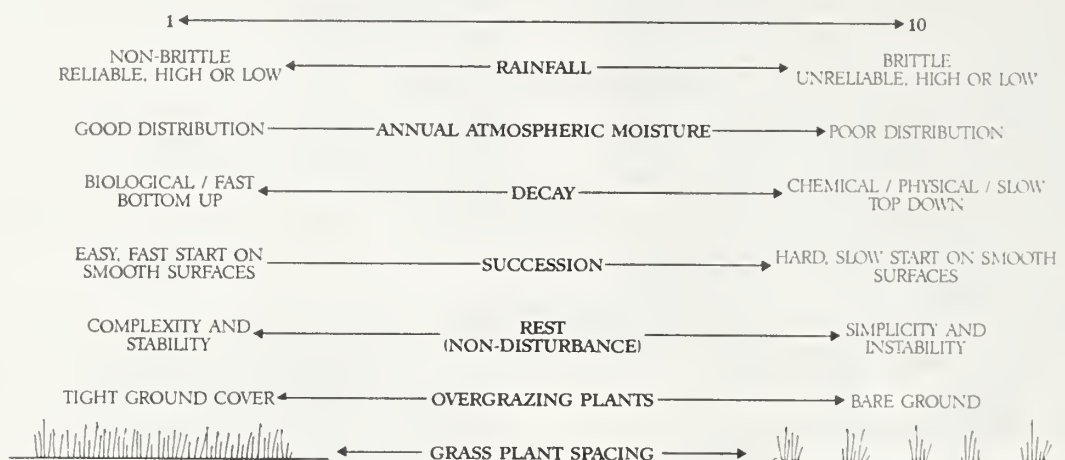


Table 2.--Differences between brittle and nonbrittle environments.

The term "fragile" environment should not be confused with the concept of brittleness, as there can exist fragile environments that are tending toward either brittleness or non-brittleness.

## Role of Herding Ungulates and Predators in An Environment Tending Toward Brittleness

In considering whole communities and interrelationships of plants, animals and soils in brittle environments, a question we might ask ourselves is this: "what influence could have removed old plant material from perennial grasses, broken soil interplant surfaces and provided the degree of compaction necessary for seedling establishment over millions of acres for millions of years, routinely?"

Herding ungulates and their predators are strongly correlated with brittle environments (Savory 1985b). Vast herds of bison, antelope, deer and elk and their predators roamed much of western North America, whereas these populations were much less substantial and their behavior quite different in the more non-brittle areas of eastern North America. Too, in Africa and on other continents, herding ungulates and predators have evolved immensely complex interrelationships (Dasmann 1964).

The link between brittle environments and the behavioral-related disturbance provided by herding ungulate populations is essential in understanding the process of desertification (Gadzia 1986). Trampling of old, standing oxidizing plant material onto the soil surface sets off a chain reaction of events: the moribund plant is freshened from obtrusive old growth; the soil surface is protected

from raindrop impact and extremes in surface temperature; moisture retention and aeration are ameliorated, and adequate compaction offsets freezing and thawing actions, thereby setting the stage for seedling establishment.

Unfortunately, the calm movements of livestock in pastures or being tranquilly herded by pastoralists do not have the same effects on plant and soil communities that migrating wildlife ungulates or wildlife bunching protectively from predators did. However, domestic livestock can be induced to exhibit an excited behavior with the use of attractants, or when a predator does occasionally inspire the herd.

## Role of Time in Community

Andre Voisin, a French scientist, showed with his research that overgrazing of plants was caused by the length of time the plant is exposed to the grazing animal, not by numbers present (Voisin 1961). Yet tragically, the belief that overgrazing could be controlled by reducing animal numbers has been a cornerstone of range management worldwide. By reducing numbers and scattering animals thinly across the land to prevent overgrazing, plants are still continually being overgrazed, (the time dimension is still being ignored) though fewer plants are overgrazed because there are fewer animals to do it. Simultaneously, fewer animals mean there is less impact on the soil surface, less litter deposited, and less crusted surface area broken to both increase aeration and provide for seedling establishment. Evidence the moderate to severe desertification occurring in West Texas (Dregne 1977) as previously mentioned, despite a decline in stocking rates of 1.5 animal units per

section per year since 1900, as recorded by the Sonora Experiment Station (Bentley 1902; Merrill 1959; Steger 1987). This disastrous combination of effects begins to account for how we managed to cause more damage to our brittle environment rangelands in a century than nomadic people had done in a few millenia (Savory 1985a).

There are countless instances now evident of successful control of the time element in minimizing overgrazing and overtrampling. This can easily be accomplished by fencing, herding, etc. and monitoring of growth rates of plants to regulate timing of moves. What is still a challenge facing those of us as scientists and stewards is how to minimize overgrazing and overbrowsing by wildlife whose migratory routes and ranges have often been blocked or have dwindled, and whose predators have been removed.

#### CONCLUSION

With the recognition of these four "missing keys" and their culmination into a practical method for managing holistically, we now have the capability to arrest the 7,000 year trend toward increasing desertification. But there is no one set strategy---there are many. The "how to's" are spawned by human creativity and tested and applied through the use of the HRM model. The two sacrosanct axioms to ensure success are: 1) sociological considerations must be a part of any solution to halt desertification and that is best accomplished by the affected people developing their own goals, and 2) the necessity of planning, monitoring, controlling and replanning, if necessary, to achieve those specified goals. By adhering to this common sense approach, which is the very foundation of the HRM model, we are capable of predicting with a high degree of certainty whether policies will further exacerbate the encroachment of deserts. Using the model in its diagnostic mode enables us to detect early on any advancement of the desertification process, and similarly, in the management mode we can quickly reverse that process.

The Center for Holistic Resource Management, a non-profit membership and educational organization located in Albuquerque, New Mexico, was formed in 1984 by a group of resource managers, researchers, farmers, ranchers and environmentalists to provide training and dissemination of knowledge on HRM. Working in an international collaborative effort, the Center now acts as a focal point for the rapid increase in knowledge that is taking place through practical application of the HRM model.

#### LITERATURE CITED

- Bentley, H. L. 1902. Experiments in range improvements in central Texas. USDA Bur. of Plant Indust. Bull. 13. 72pp.
- Berry, Wendell. 1981. The gift of good land. 281 pp. North Point Press, San Francisco, Ca.
- Boorstin, D. 1983. The discoverers. 745 pp. Random House, New York, N.Y.
- Brown, Lester R. and Sandra Postel. 1987. Pages 3-19 in State of the world. W. W. Norton, New York, N.Y. 268 pp.
- Brown, Lester R. and Edward C. Wolf. 1986. Page 22 in State of the world. W. W. Norton, New York, N.Y. 263 pp.
- Capra, Fritjof. 1982. The turning point. Bantam Books, New York, N.Y. 464 pp.
- Dasmann, R. F. 1964. Wildlife biology. John Wiley & Sons, New York, N.Y. 231pp.
- Dregne, H. 1977. Desertification of arid lands. in Economic geography 53(4):325.
- Gadzia, Kirk. 1986. Desertification-a solution is possible. in Proceedings of the American Association for the Advancement of Science, Southwest & Rocky Mountain Regional Conference. [Boulder, Co., April 3, 1986.
- Leopold, Aldo. 1949. Page 190 in A sand county almanac. Ballantine Books, New York, N.Y. 295pp.
- Lowdermilk, W. C. 1953. Conquest of the land through 7,000 years. USDA Soil Conservation Service Ag Info Bulletin #99. 30pp. Washington, D.C.
- Merrill, L. 1959. Heavy grazing lowers range carrying capacity. Texas Agricultural Progress 5(2):18.
- Savory, Allan. 1985a. Savory comment. Pages 1-5 in The Savory Letter, No. 7. Center for Holistic Resource Management, Albuquerque, NM.
- \_\_\_\_\_. 1985b. Savory Comment. Pages 1-6 in The Savory Letter, No. 10. Center for Holistic Resource Management, Albuquerque, NM.
- \_\_\_\_\_. 1986. A solution to desertification and associated threats to wildlife and man. in proceedings of the 51st North American wildlife and natural resources conference. [Reno, NV., March 12, 1986]
- \_\_\_\_\_. 1987. Savory Comment. Pages 1-4 in The Savory Letter, No. 17. Center for Holistic Resource Management, Albuquerque, NM.
- Sheridan, D. 1981. Pages 14-15 in Desertification of the United States: report of the Council on Environmental Quality 1981. Washington, D.C.
- Smuts, Jan C. 1973. Holism and evolution. Greenwood Press, Westport, Ct. 361 pp.
- Steger, Robert. 1987. Newsletter of the Texas branch for Holistic Resource Management.
- Tolba, M. K. 1984a. Arid Lands Newsletter No. 23. University of Arizona, Tucson.
- \_\_\_\_\_. 1984b. Arid Lands Newsletter No. 21. University of Arizona, Tucson.
- Voisin, A. 1961. Grass productivity. Crosby Lockwood & Son, Ltd., London, 371 pp.
- Wright, Angus. 1984. Innocents abroad: American agricultural research in Mexico in Meeting the expectations of the land. North Point Press, San Francisco, Ca. 250 pp.



245

# Reversal of Desertification on the Low-Shrub Cold Desert<sup>1</sup>

Warren P. Clary and Ralph C. Holmgren<sup>2</sup>

**Abstract.**--The low-shrub cold desert has been used as livestock winter range since the late 19th century. Severe deterioration resulted from earlier, improper grazing practices. Data and observations in the 1970's and 1980's suggest a reversal of desertification has occurred under improved grazing practices.

## INTRODUCTION

The rangeland we call the low-shrub cold desert is a plant association or formation also known as the Northern Desert Shrub, the Salt Desert Shrub, the Shadscale Zone, and the Greasewood-Saltbush Association (fig. 1). Our experience and observations have all been in the Great Basin part of its geographic range. It is possible that other results have occurred in the geologically different Colorado Plateau.



Figure 1.--Distribution of low-shrub cold desert (from Blaisdell and Holmgren 1984).

<sup>1</sup>Paper presented at the U.S.A./Mexico Symposium on Strategies for Classification and Management of Native Vegetation for Food Production in Arid Zones, Tucson, Ariz., October 12-16, 1987.

<sup>2</sup>Warren P. Clary is Project Leader, USDA Forest Service, Intermountain Research Station, Boise, Ida. 83702, and Ralph C. Holmgren is Range Scientist (retired), USDA Forest Service, Intermountain Research Station, Provo, Utah 84601.

This arid range is dominated by low shrubs (ca 25 cm), often with grasses as associates. These occur as a mosaic of plant communities largely dominated by shrubs and half-shrubs of the family Chenopodiaceae. Some of the most important species are shadscale (*Atriplex confertifolia*), Gardner saltbush (*A. gardneri*), mat saltbush (*A. corrugata*), fourwing saltbush (*A. canescens*), Castle Valley clover (*A. cuneata*), winterfat (*Ceratoides lanata*), and spiny hopsage (*Grayia spinosa*). Several shrubs of the family Compositae are also prominent members of these communities including bud sagebrush (*Artemisia spinescens*), black sagebrush (*A. nova*), and low rabbitbrush (*Chrysothamnus viscidiflorus* ssp. *stenophyllus*). Associated grasses include Indian ricegrass (*Oryzopsis hymenoides*), squirreltail (*Sitanion hystrix*), Sandberg bluegrass (*Poa sandbergii*), galleta (*Hilaria jamesii*), alkali sacaton (*Sporobolus airoides*), sand dropseed (*S. cryptandrus*), and blue grama (*Bouteloua gracilis*) (Blaisdell and Holmgren 1984).

In pristine condition, plant production was, we think, almost wholly from woody and herbaceous perennials. Annuals were most likely a negligible constituent. Generally, vascular plants cover less than 10 percent of the ground. Production of plant material above ground averages about 280 kg/ha annually.

Climatically, the country is a cold desert: cold winters, warm summers. At the Desert Experimental Range near the center of the distribution of the low-shrub cold desert, the temperatures have varied from -40 °C to +40 °C over a 50-year period, while the average annual precipitation was 157 mm.

## EARLY USE

The low-shrub cold desert was one of the last range types to be exploited through livestock grazing (final decades of the 19th century), and the land still remains almost

entirely in public ownership. The first half-century of use saw unregulated grazing over this desert. Use was such that deterioration was well under way after only about 30 years of such treatment (Griffiths 1902).

The decline continued into the middle of the 20th century, typically with livestock grazing given as the cause (Barnes 1926, Campbell et al. 1944, McArdle et al. 1936, Stewart et al. 1940, Robertson and Kennedy 1954, Wootton 1932). The term desertification was not yet in vogue, but strong words and vivid phrases described what was happening: depletion, land misuse, deterioration, grazing damage, injury by grazing, and the evils of unregulated range use. In many areas substantial soil losses occurred as a result of vegetation cover denudation and loss of protection from wind. "The stifling clouds of dust that race over the desert valleys are fed from areas largely denuded of vegetation" (Stewart et al. 1940). Pedestaled plants illustrated up to 15 cm of soil loss. Deteriorated areas were often covered with embryonic dunes. In the most extreme cases "blow-out" holes up to 4 m deep and 2.5 ha in extent were formed (Bailey and Connaughton 1936). Deterioration in the early part of this century was such that people asked, "Is Utah Sahara bound?" (Cottom 1947).

It was not only the specialists--botanists, agrostologists, agronomists--who could see the decline in productivity and foresee the economic consequences. Users, too, recognized what was happening, and some of these declared the cause to be improper grazing use. Other users theorized a changing climate to be the cause, but that idea was convincingly put to rest by Stewart et al. (1940).

#### GOVERNMENT POLICY AND PRACTICE

Federal Government natural resource policies played a significant role in the desertification process of Western United States rangelands. Such policies encouraged fragmented ownership patterns that made proper grazing management difficult and allowed unrestricted common grazing on public lands. Improper use of the land was virtually assured when these policies were added to the early settler's lack of knowledge about arid lands and their pioneer philosophy that natural resources were nearly inexhaustible (USDA Forest Service 1936).

Finally, Congress, stirred by the needs of livestock operators as well as by the alarming reports and observations of conservationists and the agricultural specialists, responded to public demand for action and passed the Taylor Grazing Act of 1934 creating an agency of the Federal Government to manage these public lands. Over the years steps were taken to acquire control and to implement use practices thought to favor conservation of the range. Slowly and steadily the Division of Grazing (now the Bureau

of Land Management) implemented measures to mitigate the damaging grazing pressure--slowly in order to avoid sudden economic calamity for individuals and small communities, and slowly also to avert political reaction.

Over several years, the new agency first got compliance with two major declarations of eligibility of livestock herds for use of these grazing lands: proof of prior use of specific areas during a period of years before the enactment; and "commensurate property," privately owned property within some reasonable distance that together with the public land could constitute a year-around ranching operation. This earliest regulation reduced the pressure of animal numbers. Later, specific areas were allotted to individual operators or associations of smaller units. This action not only reduced strife but encouraged proprietary interest in condition of the assigned lands, another positive measure.

Still later the allotments were surveyed for productivity, and allowed animal-days per year were further adjusted to better conform with carrying capacity--almost always a downward adjustment. Finally, and a still continuing program, the allotments were subjected to more intensive management, with the institution of grazing systems planned to get improved distribution of animal use over the allotted range units, and to lessen continual same-season use through some rotational time of occupancy of specific parts of allotments.

#### ACCUMULATION OF KNOWLEDGE AND EVIDENCE OF CHANGE

Since the time of initial concern, researchers have developed considerable information on grazing ecology of the low-shrub cold desert. Hutchings and Stewart (1953) studied influences of grazing intensity, plant preferences, community subtypes, and precipitation on plant community response to grazing. Later, Holmgren and Hutchings (1972) found season of grazing of great importance, and it became apparent that successional trends differed in different areas as grazing pressure increased or decreased.

Further studies documented a reversal of the early century desertification (Harper 1959, Holmgren and Hutchings 1972, Hutchings 1954, Hutchings and Stewart 1953, Norton 1978). Although evidence shows current levels of livestock use are still significantly affecting plant communities (Clary 1986, Clary and Holmgren 1987), there appears to be little controversy that improvements in condition of the desert have occurred. Somewhat less agreement exists as to the cause of the improvements in different situations. Difficulties arise in interpreting causative factors of change (Clary and Holmgren 1987, Sharp and Sanders 1978, West 1982).



Many of the vegetation successional trends in the low-shrub cold desert are somewhat unexpected, related perhaps to complex environmental interactions. However, in terms of what humans can control, evidence dating back 50 years has demonstrated in various ways (1) that livestock grazing can severely deplete this cold desert vegetation, (2) that removal of livestock grazing results in recovery of the vegetation community, and (3) that continued livestock grazing, under improved management, can also result in recovery of the vegetation community, but at a slower rate and perhaps by a somewhat different successional route (Clary and Holmgren 1987, Holmgren and Hutchings 1972). Manipulation of grazing season and intensity on experimental units has resulted in improvements of forage plant production (Smith 1986), relative plant cover composition (Clary and Holmgren 1987), and total plant cover (Blaisdell and Holmgren 1984).

Cryptogamic soil crusts are important to soil stability and are affected by grazing management. Typical desert crusts of nonvascular plants (primarily lichens, mosses, and algae) reduce detachment of soil particles by wind and rain and increase water infiltration (Anderson et al. 1982a, 1982b, Johansen and St. Clair 1986). Hoof action by grazing animals greatly impacts the protective cryptogamic crusts, particularly in the hot dry summer when the brittle crusts have little chance to recover (Anderson et al. 1982b). Thus, reducing or eliminating livestock use during the spring and summer can increase soil stability through improved cover of both vascular and nonvascular plants.

Evidence shows that improvements in livestock management have allowed a reversal of the earlier desertification process on public lands as well as on experimental areas. This evidence is in a number of forms. For instance, the descriptive evidence of decline of range condition (incipient desertification), so common in the first half of the 20th century, is no longer the alarum cry that it was. Desert dust, the duning, the blowouts are no longer common phenomena.

In our observation, ranges once judged to be in poor condition may still be like that, but the indicators of downward trend in condition are not so obvious now. Areas without perennials as a result of past abuse have stabilized with annual weed cover following the reduction of grazing pressure (fig. 2). But where there was a remnant of perennial species desirable for forage, there has been on some range areas more positive results than attainment of land stability. There are signs of change in floral composition to what we presume (on evidence of exclosures) to be in the direction of the pristine.

Early concerns about grazing impacts on winter grazing land had led to the installation of a series of study plots in western Utah and

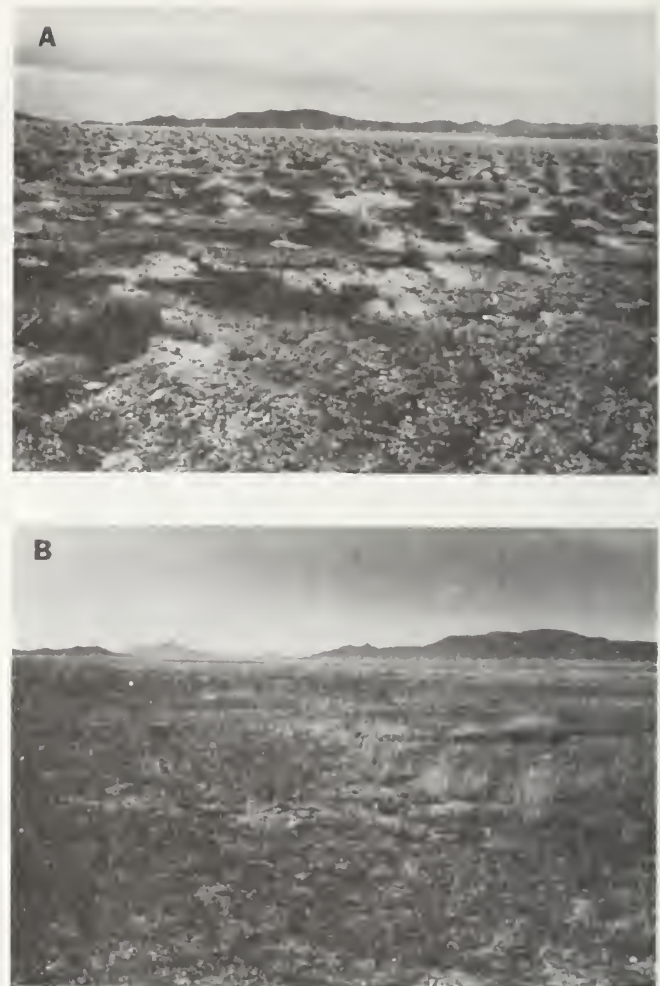


Figure 2.--Improvement in soil stability in Wah Wah Valley, Utah, from (A) 1935 to (B) 1982 (from Blaisdell and Holmgren 1984).

across central and northern Nevada. This series of 1.6-ha plots was established in 1932 through 1939, or approximately at the time grazing on public lands came under some control, and reread in 1981 and 1982. Although the plots were subjected to continued grazing for up to 50 years after the initial plot reading, they demonstrated significant increases in cover of perennial grasses and palatable shrubs (table 1). We find that perennial grasses (mainly Indian ricegrass, galleta, and squirreltail) and

Table 1.--Change in cover of grazed plots on the Bureau of Land Management low-shrub cold desert from the 1930's to the 1980's.

Plant group	1930's	1980's	Significance
Grasses	0.50	1.50	P<0.01
Palatable shrubs	3.02	3.38	P<0.10
Unpalatable shrubs	2.04	1.70	NS
Total cover	6.29	7.11	NS

and palatable shrubs (mainly winterfat, black sagebrush, and bud sagebrush) as a group have significantly ( $P < 0.01$ ) increased in the proportion of the total plant composition in these desert valleys. These plants are preferred by grazing livestock, and at least some of them tend to dominate in the long-term absence of grazing. Increases in the proportion of such plants are considered strong evidence of the recovery of a plant community from earlier grazing excesses.

#### CONCLUSIONS

Desertification may seem to some to be an almost inevitable consequence of livestock grazing in arid and semi-arid regions. However, evidence has been presented in international forums that improvements under managed use have been occurring in different countries (Box 1986). Our experience has shown that the low-shrub cold desert of the Intermountain West is surprisingly dynamic and responds to changes in grazing pressure, weather, and other factors.

A significant reversal of the earlier desertification of much of this cold desert has been attained even though livestock grazing continued. Observed improvements in plant and soil condition have resulted from a combination of long-term change in Federal land management policies, and because scientists and land managers developed a greater understanding of the ecosystem limitations and applied grazing management in a manner to stay within those limitations. Management changes such as reductions in livestock numbers, limitations on spring and summer grazing in some areas, and the application of some rotation of deferment or rest have improved conditions on much of the Great Basin low-shrub cold desert.

#### LITERATURE CITED

- Anderson, David C., K. T. Harper, and Ralph C. Holmgren. 1982a. Factors influencing development of cryptogamic soil crusts in Utah deserts. *Journal of Range Management* 35:180-185.
- Anderson, David C., K. T. Harper, and S. R. Rushforth. 1982b. Recovery of cryptogamic soil crusts from grazing on Utah winter ranges. *Journal of Range Management* 35:355-359.
- Bailey, Reed W., and Charles A. Connaughton. 1936. In watershed protection. p. 303-339. In *The western range*. Senate Document 199, 74th Congress. 620 p. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- Barnes, W. C. 1926. The story of the range. In *Hearings before a subcommittee of the Committee on Public Lands and Surveys, Part 6, U.S. Senate, 69th Congress, 1st Session*. 60 p.
- Blaisdell, James P., and Ralph C. Holmgren. 1984. Managing Intermountain rangelands--salt desert shrub ranges. USDA Forest Service General Technical Report INT-163, 52 p. Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, Utah.
- Box, Thadis W. 1986. Perspectives and issues from the Second International Rangeland Congress. p. 614-616. In Joss, P. J., P. W. Lynch, and O. B. Williams, editors. *Rangelands: a resource under siege--proceedings of the Second International Rangeland Congress*. (Adelaide, Australia, May 13-18, 1984) 634 p. Australian Academy of Sciences, Canberra, Australia.
- Campbell, Robert S., Raymond Price, and George Stewart. 1944. The history of western range research. *Agricultural History* 18:127-143.
- Clary, W. P. 1986. Fifty-year response to grazing in the low-shrub cold desert of the Great Basin, U.S.A. p. 37-38. In Joss, P. J., P. W. Lynch, and O. B. Williams, editors. *Rangelands: a resource under siege--proceedings of the Second International Rangeland Congress*. (Adelaide, Australia, May 13-18, 1984) 634 p. Australian Academy of Sciences, Canberra, Australia.
- Clary, Warren P., and Ralph C. Holmgren. 1987. Difficulties in interpretation of long-term vegetation trends in response to livestock grazing. p. 154-161. In Provenza, Frederick D., Jerran T. Flinders, E. Durant McArthur, compilers. *Proceedings--symposium on plant-herbivore interactions*. (Snowbird, Utah, August 7-9, 1985) USDA Forest Service General Technical Report INT-222, 179 p. Intermountain Research Station, Ogden, Utah.
- Cottam, W. P. 1947. Is Utah Sahara bound? Reynolds Lecture Series Bulletins Volume 37. University of Utah, Salt Lake City.
- Griffiths, D. 1902. Forage conditions on the northern border of the Great Basin. USDA Bureau of Plant Industries Bulletin 15, 60 p.
- Harper, Kimball T. 1959. Vegetational changes in a shadscale-winterfat plant association during twenty-three years of controlled grazing. 68 p. Brigham Young University, Provo, Utah.
- Holmgren, Ralph C., and Selar S. Hutchings. 1972. Salt desert shrub response to grazing use. p. 153-165. In *Wildland shrubs--their biology and utilization*.



- USDA Forest Service General Technical Report INT-1, 494 p. Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, Utah.
- Hutchings, Selar S. 1954. Managing winter sheep range for greater profit. U.S. Department of Agriculture Farmer's Bulletin 2067. 46 p. Washington, DC.
- Hutchings, Selar S., and George Stewart. 1953. Increasing forage yields and sheep production on Intermountain winter ranges. U.S. Department of Agriculture Circular 925. 63 p. Washington, DC.
- Johansen, Jeffrey R., and Larry L. St. Clair. 1986. Cryptogamic soil crusts: recovery from grazing near Camp Floyd State Park, Utah, USA. Great Basin Naturalist 46:632-640.
- McArdle, Richard E., David F. Costello, E. E. Birkmaier, Carl Ewing, B. A. Hendricks, C. A. Kutzleb, Alva A. Simpson, and Arnold R. Standing. 1936. The white man's toll. p. 81-116. In *The western range*. Senate Document 199, 74th Congress. 620 p. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- Norton, Brien E. 1978. The impact of sheep grazing on long-term successional trends in salt desert shrub vegetation of southwestern Utah. p. 610-613. In *Hyder, Donald N., editor. Proceedings of the 1st International Rangeland Congress*. (Denver, Colo., August 14-18, 1978) 742 p. Society for Range Management, Denver, Colo.
- Robertson, Joseph H., and P. B. Kennedy. 1954. Half-century changes on northern Nevada ranges. *Journal of Range Management* 7:117-121.
- Sharp, Lee A., and Kenneth D. Sanders. 1978. Rangeland resources of Idaho. Misc. Publ. 6, 74 p. The Idaho Rangeland Committee and College of Forestry, Wildlife and Range Sciences, University of Idaho, Moscow, Idaho.
- Smith, Courtney Bingham. 1986. Grazing effects and site factors in relation to grazing use of salt desert shrub vegetation, Desert Experimental Range, Utah 1938-1974. 244 p. Utah State University, Logan. M.S. Thesis.
- Stewart, George, W. P. Cottam, and Selar S. Hutchings. 1940. Influence of unrestricted grazing on northern salt desert plant associations in western Utah. *Journal of Agricultural Research* 60:289-316.
- U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 1936. *The western range*. Senate Document 199, 74th Congress. 620 p. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- West, Neil E. 1982. Dynamics of plant communities dominated by chenopod shrubs. *International Journal of Ecology and Environmental Science* 8:73-84.
- Wootton, E. O. 1932. The public domain of Nevada and factors affecting its use. U.S. Department of Agriculture Technical Bulletin 301, 52 p. Washington, D.C.

245

# How Desertification Affects Nitrogen Limitation of Primary Production on Chihuahuan Desert Watersheds<sup>1</sup>

Walter G. Whitford, James F. Reynolds, and Gary L. Cunningham<sup>2</sup>

-----

It is hypothesized that the shift from perennial clump grasses to shrub dominated ecosystems in the Chihuahuan Desert has resulted in a change from predominantly water limited ecosystems to nitrogen-water limited ecosystems. In shrublands nitrogen and water are concentrated in patches under individual shrubs. This patchiness affects the temporal linkage between water inputs and nitrogen availability. Nitrogen and water availability are also affected by redistribution of organic matter by wind, water and animals. Shifts from grassland to shrubland results in increased temporal and spatial variability of these essential resources for plant production. Models for predicting primary productivity on desert landscapes must include linkage between mechanistic nitrogen models and broad spatial scale organic matter transport and accumulation models.

-----

In a review of definitions of desertification Verstraetæ (1986) emphasized the United Nations definition, "The diminution or destruction of the biological potential of the land...the widespread deterioration of ecosystems under the combined pressure of adverse and fluctuating climate and excessive exploitation." Verstraetæ (1986) goes on to point out that desertification is not drought, soil erosion, destruction of the vegetative cover, cutting of trees nor even the degradation of living conditions alone, but it is all of that and much more. It is the "much more" aspect of desertification that we

emphasize here. In this paper we examine how desertification has affected nitrogen limitation of primary production in the Chihuahuan Desert of North America. We develop the hypothesis that the deterioration of Chihuahuan Desert ecosystems has not necessarily resulted in reduction in primary production, but has affected the temporal linkage between rainfall and production and has affected spatial patterns of water and organic matter redistribution.. The "deterioration" assessment in Chihuahuan Desert ecosystems is based on loss or reduction in palatable forage species for domestic livestock. Palatable vegetation has been replaced by unpalatable or low forage-quality species. We suggest that reversing desertification or improving the yield of usable (directly or indirectly to humans) biomass requires sufficient understanding of the Chihuahuan Desert ecosystem processes and landscape relationships to allow an opportunistic strategy of land management (Westoby et al. 1987). In this paper we address factors affecting nitrogen availability and the linkage between organic matter transport and redistribution and available soil

-----

<sup>1</sup>Paper presented at the Symposium on Strategies for Classification and Management of Native Vegetation for Food Production in Arid Zones, (Tucson, Arizona, October 12-16, 1987.)

<sup>2</sup>Walter G. Whitford and Gary L. Cunningham are Professors of Biology at New Mexico State University, Las Cruces, NM. James F. Reynolds is Professor of Biology at San Diego State University, San Diego, CA.



nitrogen. In addition we present a discussion of modelling strategies applicable to these problems.

The large scale changes in vegetation in the Chihuahuan Desert during the past century is well documented (Branscomb, 1956; Gardner, 1951; Buffington and Herbel, 1965; Ares, 1974; Wright, 1982). Most of the areas that were characterized as relatively uniform stands of perennial grasses in the 1880's now have little or no cover by these grass species and are now shrub desert habitats. The remnant perennial grasslands occur as small patches, swales of relatively low forage quality species like *tabosa*, *Hilaria mutica* or as short life span clump grasses (e.g. *Sporobolus* spp.) and low shrub (*Xanthacephalum* spp.) associations. While there have been periods defined as climatic "droughts" during the past century, these periods did not result in the complete disappearance of perennial grasslands but did result in marked reduction of that habitat (Conley et al., 1987) undoubtedly as a result of climate interacting with overgrazing. Obviously both shrubland and perennial grassland can be maintained under the current climate. If both shrublands and grasslands are self-sustaining in the current climatic regime, what are the inherent differences in these systems that allow this?

The conventional view of arid ecosystems is that system processes are driven by water which is available in irregular pulses (Noy-Meir, 1973). Almost by definition, such ecosystems have been viewed as water limited systems. The use of "limited" in the context of deserts conveys the idea that processes such as primary production, decomposition, populations dynamics, etc. will increase in proportion to the quantity of water input to the system. However we now know that such is not the case (Whitford, et al. 1986, Fisher et al. 1987, Schaefer et al. 1985, Gutierrez and Whitford, 1987a). An additional factor that appears to limit some of these processes is nitrogen availability (Ettershank et al. 1978, Gutierrez and Whitford 1987b, Gutierrez et al. (1987), Lightfoot and Whitford (1987).

The heterogeneity of desert watersheds or landscapes should thus be viewed in the context of both nitrogen and water limitation. Both total nitrogen and nitrogen mineralization potential vary on a desert landscape and this variation appears to be related to topographic position, soil organic matter and soil

texture. Within the more homogeneous subunits or patches there is considerable variation in soil nitrogen and soil organic matter. Within a larger landscape subunit many of the "hot spots" or patches of higher organic matter, higher soil nitrogen and elevated soil water have their origins in the soil moving and nest building activities of vertebrates and arthropods, plus, the loss or deposition of materials by aeolian and fluvial forces.

A conceptual landscape model of an ecosystem is shown in Figure 1. Two sub-models, a "point" model and a "transport" model are depicted. In Chihuahuan desert ecosystems, the key processes are the interactions between water availability and nitrogen availability. These processes are described later in the text and are the subject of simulation modelling efforts. The models of processes do not consider transport into or out of patches nor the activities of animals that change water and organic matter status of soil within the patch. The landscape level processes that affect the availability of water and nitrogen are erosion and deposition, wind transport of fragments of plants, feces, soil etc. and transport of organic matter by central place foraging animals that concentrate organic matter in nests and burrows. In order to understand the relationships between patch processes it will be necessary to link process models with models of landscape transport processes (Fig. 1).

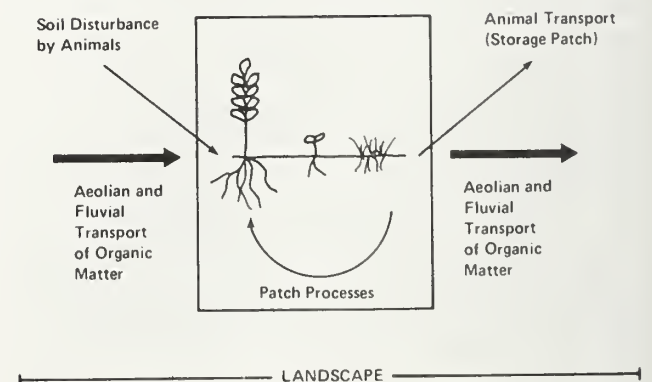


Figure 1.--The relationships between point or process models (enclosed in the box) and transport and storage processes that occur on larger spatial scales, e.g. watersheds.

The point model is intended to represent ecosystem dynamics at a specific location or patch in the landscape. No explicit consideration is given to external imports of carbon and nitrogen

SITE CHARACTERISTICS	GRAMA I	UPPER II	LARREA III	BASIN IV	SLOPE V	PLAYA VII	FRINGE III	PLAYA IX	BASIN GRASS	MESQUITE DUNES	HILARIA SWALE	BASIN GRASS SHRUB
1. Tight Rhizosphere N cycle	+++	-	-	-	-	-	-	++	+++	-	+++	+
2. Dense root mat	+++	-	-	-	-	-	-	+++	+++	-	+++	+
3. Soil Microbial Biomass	+++	-	+	-	-	+	++++	++++	+	+++	++	+
4. Denitrifier biomass	-	-	-	-	-	-	++	+++	+	++	+++	-
5. Nonmicrobial soil organic matter	+	-	+	-	-	+	+++	+++	+	+++	++	+
6. Nonsymbiotic N Fixers	+++	+	-	-	+	+	+++	+++	+++	-	+++	++
7. Rhizobium nodulated herbaceous legumes	++	++	+	+	+	+++	-	-	-	-	-	-
8. Rhizobium nodulated or actinorhizal shrubs	+	-	-	-	-	+	+++	-	-	++	-	+
9. Cyanobacteria/lichen crusts	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	++	+
10. Termites	-	++	++	+++	+++	+++	-	-	++	+	-	++
11. Vegetation matrix impedes sediment loss	+++	-	+	-	-	-	+++	+++	+	-	+++	+
12. Large quantities easily moveable O.M.	+	+	++	+++	+++	+++	-	-	+	++	+	+
13. High infiltration rates	+++	+	+	+++	+++	+++	++++	-	+++	+++	-	++
14. High sediment yield	-	++	++	+++	+++	+++	-	-	-	+	-	+
15. Consumer transported O.M.	+	+	++	++	+	+	++	+++	++	-	-	++
16. Architectural heterogeneity	-	-	+++	++	++	++	++	-	-	-	-	++

Table 1. Hypothesized spatial relationships of characteristics of subunit on a Chihuahuan Desert landscape that affect water and nitrogen availability of that sub-unit and adjacent sub-units. Most of the site characteristics affect hypothesized transports across boundaries of the sub-units or within sub-units. All of these characteristics affect nitrogen availability at any given point on the landscape.



(originating elsewhere in the landscape) nor of transport losses of carbon and nitrogen from that location. Carbon and nitrogen losses accounted for in the point model are ammonia volatilization, denitrification and respiratory carbon (Moorhead et al. 1986).

The relationship of point or patch processes to landscape or transport processes are suggested in Table 1. Examples of point or patch processes are: primary production, decomposition, nutrient mineralization, trophic relationships of soil biota and herbivory. This conceptualization suggests the hypothesis that transport of organic matter at the scale of the landscape has greater impact on nitrogen based processes than point processes (i.e. on the scale of soil unit to plant). Transport processes produce areas where organic matter is concentrated with relatively barren areas in between. The organic matter patches may be relatively dense as in a bunchgrass grassland area, moderately dispersed as in a shrub zone, or widely scattered as in a zone with scattered sub-shrubs and herbaceous plants.

The temporal and spatial scales at which various soil disturbances and rain events operate are summarized in Figure 2. Small soil disturbances occupy small space, occur at high frequency and may serve as repositories for wind and water borne debris. The influence of such soil disturbances is to generate short-lived water and nutrient rich patches of small size. These do not "store" organic matter or nutrients. Soil disturbance by animals such as pocket gophers and badgers may persist for several years but are not maintained nor modified by import of organic matter or subsequent digging. Soil disturbances such as large ant mounds and banner-tailed kangaroo rat mounds are persistent features of the landscape, are continuously modified by import of organic materials and excavating activities of nest and burrow occupants. These persistent features represent "storage" patches that are nitrogen and other nutrient rich sites that have different water infiltration and storage properties than surrounding soils (Mun and Whitford, 1987).

M, N, O and P on Figure 3 are diagrammed to represent probability of return times of rain events of different magnitudes. Small events occur relatively frequently: return time < 1 year. These events affect nitrogen processes at the "point" model level. Intermediate 6mm-25cm size events usually occur yearly.

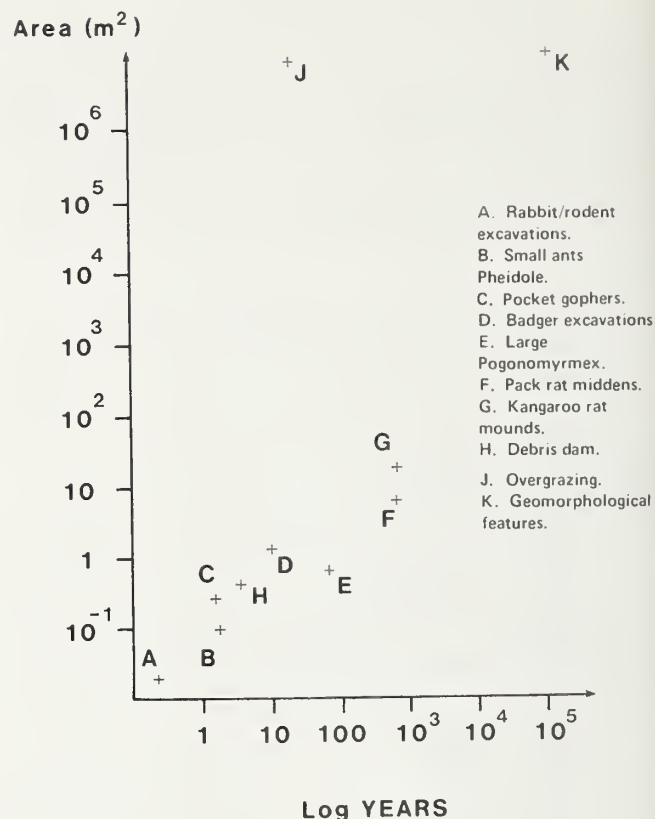


Figure 2.--Temporal and spatial scales of soil disturbance and/or organic matter storage processes.

Events of this size may produce erosional transport between landscape units or redistribution and concentration of organic materials within a unit. Events > 25 mm may initiate sheet flow. Sheet flow may be of sufficient duration and intensity to sweep transportable organic debris to the bottom of a watershed. Large events may scour sloping landscapes. These are low frequency events having probable return times of 10 years or more.

Soil movement by animals not only produces variable size patches that may accumulate organic matter and nitrogen but also produces easily dislodgeable material that is readily transported by wind and water. For example, termites build galleries around dead stems, leaves, and dung. The gallery material contains a large clay silt fraction and is nitrogen enriched (Whitford et al. 1982). This friable material is readily broken up by rain drops and by wind and transported by surface flow or wind. Using the values for gallery carton and size of the watershed, we calculated that if the

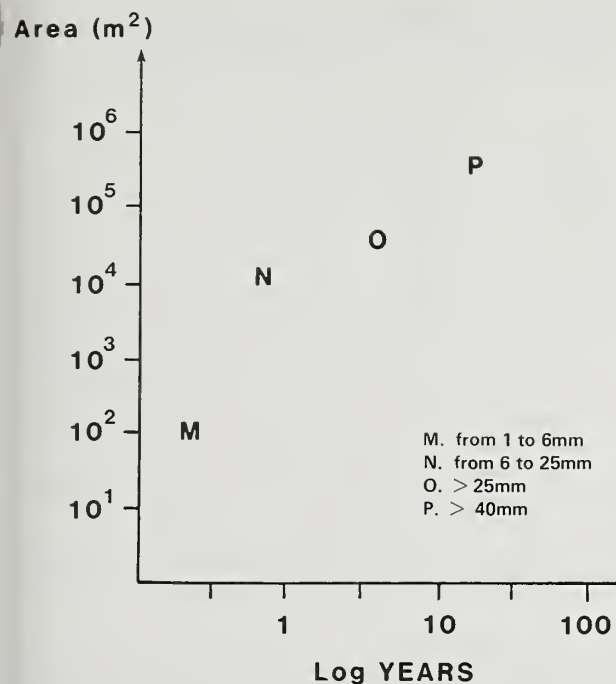


Figure 3.--Aerial extent and probable return times for single high intensity rain events in the Chihuahuan Desert.

clay-silt fraction of termite galleries were transported to the playa, they would account for 10 cm of sediment being added to the playa surface in 100 years. Add to this the fine textured soils moved to the surface by ants, rodent and rabbit diggings and this potential addition to the readily transported sediment is not to be dismissed as a factor affecting vegetation zonation and general soil properties.

The linkage between water inputs and nitrogen availability affects both the spatial and temporal variation in primary production. Understanding the water input-nitrogen availability linkage is thus essential for understanding temporal and spatial variation in primary production. The linkage between rainfall and nitrogen availability is not necessarily the same in the various units that make up a Chihuahuan Desert landscape. That linkage within a unit may be affected by inputs from and outputs to adjacent landscape units. Therefore if we are to understand the consequences of shifting from perennial grassland to shrubland, it is necessary to compare the water-nitrogen availability linkage in these systems.

There are numerous points in the nitrogen cycle where water affects the rate of transformation (Fig. 4). Some of these transformations are the subject of recently initiated research. For example, denitrification should vary as a function of nitrate concentration in anaerobic microsites in the soil. Soil water content affects the number and size of such microsites. Studies of denitrification are currently being conducted as part of the Jornada Long Term Ecological Research Program (LTER)

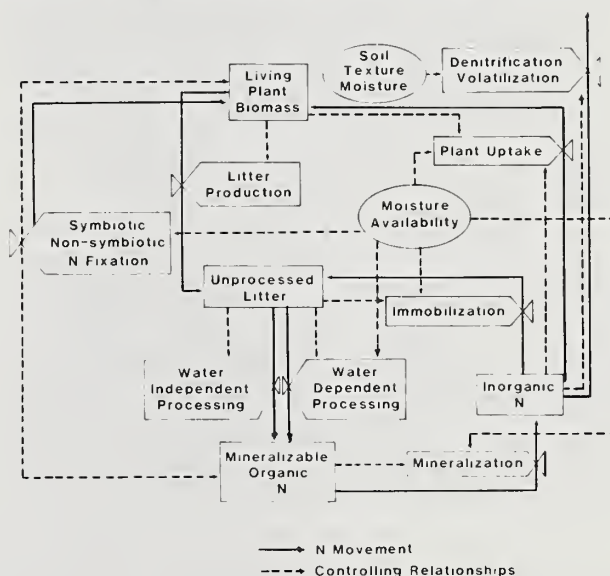


Figure 4.--Linkages between moisture inputs (availability) and nitrogen cycling processes in the northern Chihuahuan Desert.

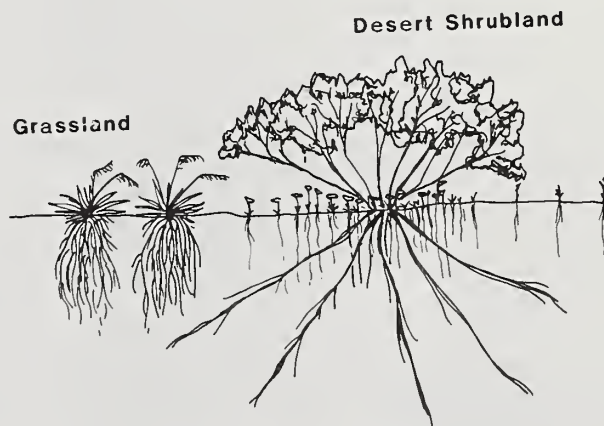


Figure 5.--Relative root mass distributions of perennial clump grasses and shrubs with annual plants under the canopy.



A source of nitrogen that is variable in space and time is nitrogen fixed by Rhizobium spp. in nodules on the roots of annual legumes. Rhizobium nodules are abundant on the roots of several herbaceous legumes that occur in some habitats on the Jornada Experimental Range: Astragalus spp. Lotus neomexicanus and Lupinus (W.G.W. pers. obs.) Moroka et al. 1982, examined the vegetation in three basin grassland sites on the Jornada, but did not report cover of any of these species. Pieper et al. (1983) did not mention annual legumes in the basin grassland despite reporting biomass of annuals accounting for less than 1% of the total peak standing crop e.g. 5-7 g·m<sup>-2</sup>. It is therefore unlikely that N inputs via fixation by symbiotic N fixing Rhizobium spp. on herbaceous legumes is of importance in the basin grasslands. On the watershed intensively studied by the Jornada LTER group, the potential input of N by N fixing annual legumes was greatest at the base of the basin slope, and high in the black grama grassland (Table 2). Ludwig et al. (1987) and Gutierrez and Whitford (1987b) reported that Astragalus spp. increased in density and biomass on irrigated plots in comparison to non-irrigated and irrigated N fertilized plots. The toe slope grama grassland and lower basin slope are the

Table 2. Mean cover values (%) of nodulated herbaceous legumes at various positions on a Chihuahuan Desert watershed (see Figure 1) for relative positions of vegetation zones.

	Sum	Ast nut	Ast woo	Ast tep	Lot neo	Lup con
Playa	0.6	0.62	0	0	0	0
Lower Basin Slope	4.7	4.3	.3	.1	0	0
Mid-Basin Slope	0.7	.05	.6	.05	0	0
Upper Basin Slope	0.2	0.1	.07	0	0	0
<u>Larrea</u> Bajada	0.1	0.1	0	0	.05	0
Piedmont Bajada	2.4	0	0	0	1.7	0.7
Piedmont Grassland	0.6	0	0	0	0.4	.2

Ast nut = Astragalus nuttallianus

Ast tep = Astragalus tephrodes

Ast woo = Astragalus wooteni

Lot neo = Lotus neomexicanus

Lup con = Lupinus concinnus

Jornada LTER data: courtesy Steve Wondzell

portions of the watershed with the best water storage and infiltration (Bach et al. 1986) and consistently highest soil water contents (Wierenga et al. 1987).

Shrub dominated desert areas are characterized by "islands of fertility" where nutrients are concentrated in the surface soils under shrub canopies surrounded by soils of low nutrient content (Garcia-Moya and McKell 1970, Parker et al. 1982). These insular patches are not only of soil nutrients but also of soil organic matter and annual plants (Table 3). Shrub canopies and associated litter layer also result in increased soil water contents by increasing infiltration rates (Elkins et al. 1986), and by channeling water by stem flow (unpublished data - W.G. Whitford and J. Anderson). Intershrub soils have lower infiltration and generate run-off and erosion more rapidly than soils under canopies.

Table 3. Mean  $\pm$  standard deviation total nitrogen content, density and biomass of annual plants under shrub canopies and in intershrub areas on a Larrea tridentata dominated site in the northern Chihuahuan Desert. Data from Parker et al. (1982).

	Canopy	Intershrub
Total N g.kg <sup>-1</sup> soil	40.4 $\pm$ 3.9	33.5 $\pm$ 1.9
No. Annual plants m <sup>-2</sup>	80 $\pm$ 23	16 $\pm$ 11
G. Annual plants m <sup>-2</sup>	24 $\pm$ 10	4 $\pm$ 1

In areas dominated by shrubs without symbiotic N fixers, available nitrogen is a function of N mineralization from decomposing organic matter. In general decomposition rates are high for leaf litter of dominant North American shrubs. P. glandulosa which had the lowest C:N ratio and lowest lignin content of the shrub leaf litter examined by Schaefer et al. (1985) also had the lowest net annual mass loss (Table 4). All species examined by Schaefer et al. (1985) exhibited significant N mineralization or N loss during the first six months of field exposure. Cepeda (1986) found that the decomposition rates of black grama grass, B. eriopoda were lower than those of leaves of shrub and annual species.

The decomposition of litter under canopies of shrubs produces relatively N rich islands while the decomposition of grass litter and herbaceous plant litter

Table 4. Carbon nitrogen ratios, lignin content (%) and percent mass loss per year of leaf litter of several Chihuahuan Desert shrubs in comparison to leaf, stem litter of annual plants. (Data from Schaefer et al. 1985).

Species	C:N ratio	Lignin	Net annual Mass Loss
<i>Chilopsis linearis</i>	19.1	14.6	76.5
<i>Flourensia cernua</i>	20.7	9.6	40.8
<i>Larrea tridentata</i>	26.7	10.6	35.1
<i>Prosopis glandulosa</i>	16.1	7.8	30.6
Mixed annual plants	24.2	10.3	61.7

produces little soil organic matter or nutrient enrichment.

Generally desert shrubs have diffuse relatively deep (>1m) woody root systems (Fig. 5). Because of the responses of *L. tridentata* to small rain events and fertilization and concentration of nutrients in the upper 10 cm of soil (Fisher et al. 1987), we hypothesized that the shallow fine roots of shrubs are responsible for most of the nutrient uptake. In *L. tridentata* dominated systems, the seasonal timing as well as the frequency and quantity of rainfall has a marked effect on nitrogen availability through effects on N immobilization/mineralization processes (Fisher et al. 1987). Winter and early spring precipitation results in the production of dense stands of annual plants under the shrub canopies. The rooting depth and root biomass of these annuals is dependent upon the depth of the wetting front and duration of moist soil at depth during the growth of the annuals. This results in root:shoot ratios ranging from 1.2 to as low as 0.2 (unpublished data). Spring annuals die as soil temperature begins to increase in March and April. The death of spring annuals is generally coincident with the initiation of growth in *L. tridentata* (Gutierrez and Whitford, 1987; Fisher et al. 1987). The death of spring annuals produces a pulse of high C:N ratio dead roots (C:N ratios, 65-70, Whitford and Stinnett, 1987). The dead roots are a carbon (energy) source for microorganisms. The fungi growing in and on these dead roots immobilize N, thereby competing with shrub roots for the small quantities of N being mineralized from decomposing litter fragments (Fig. 6). Decomposing roots of annual plants continue to exhibit net immobilization for the following 6-9

months thus severely restricting N availability for annuals germinating in October and November and early shrub growth during the following year (Gutierrez and Whitford, 1987; Fisher et al. 1987). Thus successive wet periods result in the characteristic reductions in NPP found in such systems during the second of two successive "wet" years (Ludwig and Flavill 1979, Gutierrez and Whitford, 1987). Productivity of shrub dominated systems thus tends to exhibit time lags in NPP following rainfall pulses and the time lags vary from 0 to more than 1 year depending upon the immediate past history of rainfall and production of annual plants that are the sources of high C:N ratio "pulses" of dead roots.

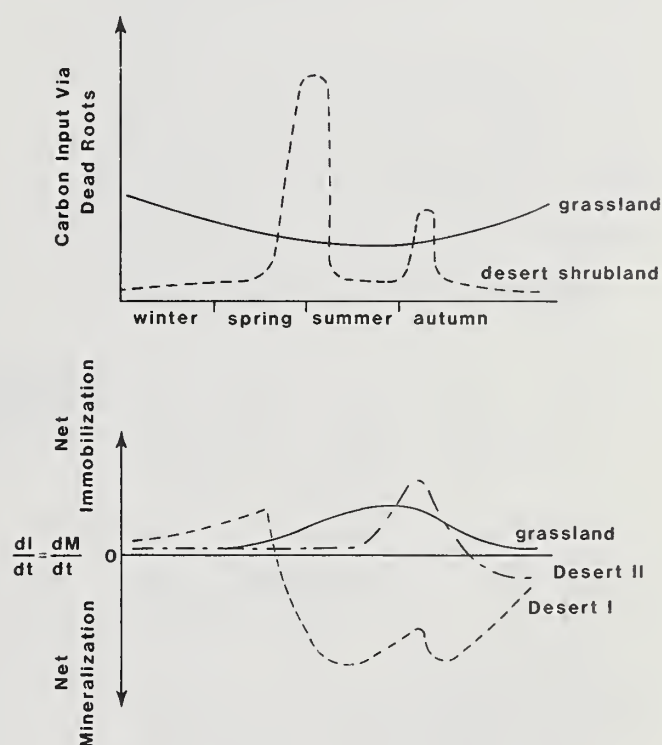


Figure 6.--Hypothesized seasonal patterns of carbon inputs to the soil and seasonal relationships of mineralization and immobilization in desert grasslands and shrublands. The carbon inputs for desert shrublands is for a year with a wet winter and spring and normal summer rainfall. The lower model Desert I is for carbon input for wet winter, spring and average summer rainfall. Desert II is for a dry winter and spring with average summer rainfall.

Primary production of black grama grasslands appears to be closely correlated with rainfall despite annual plant production equivalent to or greater than



that measured in *L. tridentata* areas (Pieper and Herbel, 1982). Perennial grasses maintain a significant proportion of their biomass in a dense network of shallow roots (Dickinson, 1982, Pieper and Herbel, 1982). Perennial grass root systems differ greatly from shrub root systems in several important characteristics (density and nature of the roots, production of mucigels, development and species composition of rhizosheath microorganisms, and spatial relationships to annual plant roots). In grasslands annual plants grow in the interclump spaces with little or no spatial overlap with the nutrient absorbing roots of the grass clump. Rhizosheaths are common in xeric grasses (Wullstein et al. 1979, Whitford pers obs.). The material secreted from roots of grasses that bind soil particles to form rhizosheaths are mucilages (Rougier and Chaband, 1985) which may serve to attract and support free living nitrogen fixing bacteria in the rhizosheath (Mandimba et al. 1986, Reinhold et al. 1986, Wullstein et al. 1979). Thus, during periods of active translocation of photosynthate to the roots, active root growth and mucilage production may stimulate N fixation by a variety of free living N fixers (El Shahaby and Whitford unpublished data).

rates, nitrogen fixation in rhizosheaths could supply a significant proportion of the required nitrogen. Although roots of perennial grasses die and decompose, that process is probably continuous and occurs at a low rate (Dickinson, 1982). With non-symbiotic N fixation and a continuous if fluctuating rate of root turnover, it is probable that nitrogen mineralization exceeds immobilization most if not all of the time (Fig. 6). Considering these characteristics, the close linkage of grassland production to precipitation and the lack of linkage in shrublands is comprehensible. The conceptual model comparing these processes is presented in Figure 6).

As described above, a significant but variable part of the spatial-temporal variability in net primary production results from the characteristics of dominant vegetation of a landscape unit. However, the net productivity of many similar landscape units may vary in space and time, in part as a function of net import or export of organic matter. Soils in areas where organic matter accumulates have higher potential rates of N mineralization than areas exporting organic matter or that are isostatic with respect to organic matter transport (Fig. 7). These relationships are

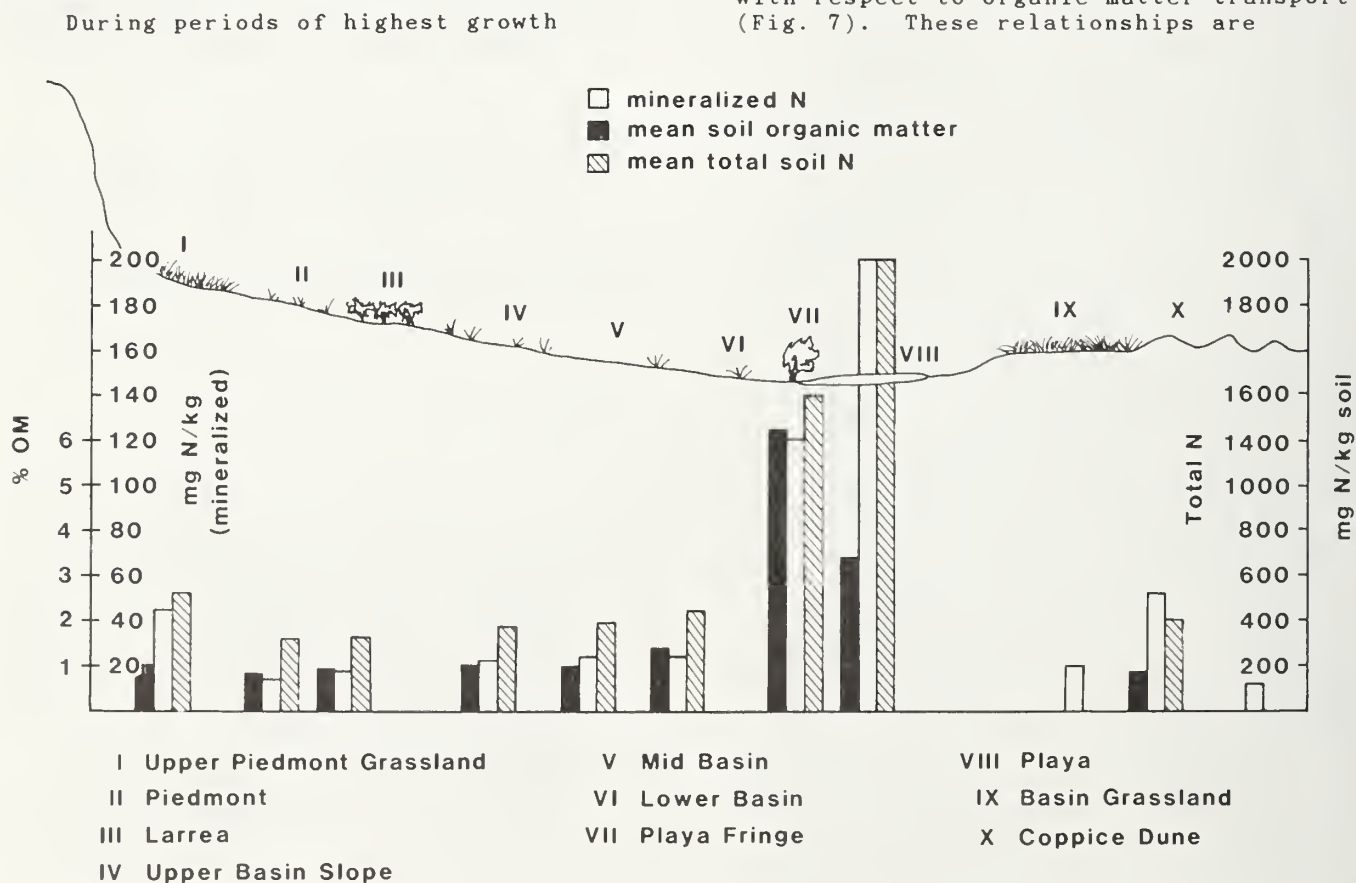


Figure 7. -- Relationships between slope and vegetation and soil organic matter, total soil nitrogen and nitrogen mineralization potential measured as mineralized nitrogen at the end of 16 weeks of laboratory incubation.

readily seen in comparisons of location with respect to slope, mean organic matter and average total soil N.

Another variable that affects soil organic matter and nitrogen is the activity of termites (Parker, et al. 1982). The subterranean termites of the northern Chihuahuan desert feed on a wide variety of organic materials (Johnson and Whitford 1970, Whitford, et al. 1982.) In areas where organic matter accumulates behind small debris dams or precipitates out of the slow moving sheet flow but where termites are abundant, soil organic matter may be quite low. This is the pattern seen on the Jornada LTER transect. The mineralization of organic matter in the guts of termites effectively eliminates that organic matter and nitrogen from the root zone of the soil.

The preceding review of the available data supports the contention that desertification of the desert grasslands of North America has had an enormous impact on the temporal linkage between precipitation and plant production. In addition, reduction of perennial grass cover and replacement of grasses by scattered shrubs or herbaceous plants has probably had a marked effect on transport processes, hence the linkage between water storage and nitrogen availability. While it is not possible to directly test some of the hypotheses developed from the existing data base, it is clear that we must have a more complete understanding of the water input, organic matter transport, nitrogen availability relationships before we can develop optimal food or fiber production strategies that can be sustained on desertified landscapes. In addition, the gradual shifts from grassland to shrubland affect populations of animals that create disturbance patches and organic matter patches. Are such patches relictual in recent shrublands? How do changes in soil and vegetation affect populations of animals that are important as pedogenic agents? We have only been able to develop some hypotheses that address such questions. The requisite data and insights will be gained only by research efforts that use experiments, simulation models and long term monitoring of key parameters in an integrated, interdisciplinary program.

This paper is a contribution of the Jornada Long Term Ecological Research Program funded by the U. S. National Science Foundation Grant No. BSR8114466.

## LITERATURE CITED

- Ares, F. N. 1974. The Jornada Experimental Range: an epoch in the era of southwestern range management. Society of Range Management. Range Monograph, No. 1. 74 pp.
- Bach, L. B., P. J. Wierenga and T. J. Ward. 1986. Estimation of the Phillip infiltration parameters from rainfall simulation data. Soil Science Society of America Journal 50:1319-1323.
- Branscomb, B. L. 1956. Shrub invasion of a southern New Mexico desert grassland range. Journal of Range Management 11:129-132.
- Buffington, L. C. and C. H. Herbel. 1965. Vegetational changes on a semidesert grassland range. Ecological Monographs 35:139-164.
- Cepeda, Jorge. 1986. Spatial and temporal patterns of decomposition and microarthropod assemblages in decomposing surface leaf-litter on a Chihuahuan Desert watershed. Ph.D. Thesis, New Mexico State University, Las Cruces, New Mexico
- Conley, W., M. R. Conley and T. R. Karl. 1987. Historical context and the implication of episodic events in ecological studies. American Naturalist (submitted).
- Dickinson, N. M. 1982. Investigations and measurement of root turnover in semi-permanent grassland. Revue Ecologia Biologia du Sol. 19:307-314.
- Cepeda, Jorge. 1986. Spatial and temporal patterns of decomposition and microarthropod assemblages in decomposing surface leaf-litter on a Chihuahuan Desert watershed. Ph.D. Thesis, New Mexico State University, Las Cruces, New Mexico
- Conley, W., M. R. Conley and T. R. Karl. 1987. Historical context and the implication of episodic events in ecological studies. American Naturalist (submitted).
- Dickinson, N. M. 1982. Investigations and measurement of root turnover in semi-permanent grassland. Revue Ecologia Biologia du Sol. 19:307-314.



- Elkins, N. Z., G. V. Sabol, T. J. Ward and W. G. Whitford. 1986. The influence of subterranean termites on the hydrological characteristics of a Chihuahuan Desert ecosystem. *Oecologia* (Berlin) 68:521-528.
- Ettershank, G., J. Ettershank, M. Bryant and W. G. Whitford. 1978. Effects of nitrogen fertilization on primary production in a Chihuahuan desert ecosystem. *Journal of Arid Environments* 1:135-139.
- Fisher, F. M., J. C. Zak and G. L. Cunningham. 1987. Supplemental water and nitrogen effects on seasonal creosotebush growth and biomass allocation patterns in the northern Chihuahuan Desert. Submitted to *Journal of Range Management*.
- Fisher, F. M., J. C. Zak, G. L. Cunningham and W. G. Whitford. 1987. Supplemental water and nitrogen effects on seasonal creosotebush growth and biomass allocation patterns in the northern Chihuahuan Desert. *Journal of Range Management* (Submitted).
- Garcia-Moya, E. and C. M. McKell. 1970. Continuation of shrubs to the nitrogen ecology of a desert wash plant community. *Ecology* 51:81-88.
- Gardner, J. L. 1951. Vegetation of the creosotebush area of the Rio Grande Valley in New Mexico. *Ecology Monographs* 21:379-403.
- Gutierrez, J. R. and W. G. Whitford. 1987. Responses of Chihuahuan Desert herbaceous annuals to rainfall augmentation. *Journal of Arid Environments* 12:127-134.
- Gutierrez, J. R. and W. G. Whitford. 1987. Chihuahuan Desert annuals: Importance of water and nitrogen. *Ecology*. In press.
- Gutierrez, J. R., O. A. DaSilva, M. I. Pagani, D. Weems and W. G. Whitford. 1987. Effects of different patterns of supplemental water and nitrogen fertilization on productivity and composition of Chihuahuan Desert annual plants. *American Midland Naturalist*. In press.
- Johnson, K. A. and W. G. Whitford. 1975. Foraging ecology and relative importance of subterranean termites in Chihuahuan desert ecosystems. *Environmental Entomology* 4:66-70.
- Lightfoot, D. C. and W. G. Whitford. 1987. Variation in insect densities on desert creosotebush: is nitrogen a factor? *Ecology* 68:547-557.
- Ludwig, J. A. and P. Flavill. 1979. Productivity patterns of *Larrea* in the northern Chihuahuan desert. pp. 139-150. In Lopez, E. C., T. J. Mabry and S. F. Tavizor (Eds.) *Larrea Centro de Investigacion en quimica aplicada*. Comision Nacional de las Zonas Anos, Saltillo, Coahuila, Mexico.
- Ludwig, J. A., W. G. Whitford and J. Cornelius. 1987. Effects of water, nitrogen and sulfur amendments on cover density and size of Chihuahuan Desert ephemerals. *Journal of Arid Environments*. In press.
- Mandimba, G., T. Heulin, R. Bally, A. Guckert and J. Balandreau. 1986. Chemotaxis of free living nitrogen-fixing bacteria towards maize mucilage. *Plant and Soil* 90:129-139.
- Moorhead, D. L., J. F. Reynolds and W. G. Whitford. 1986. A conceptual model for primary productivity, decomposition and nitrogen cycling in the Chihuahuan creosotebush desert. *Tree Physiology* 2:215-222.
- Mun, H. T. and W. G. Whitford. 1987. Factors affecting annual plant assemblages on banner-tailed kangaroo rat mounds. *Bulletin of the Ecological Society of America* 68:373.
- Noy-Meir, I. 1973. Desert ecosystems: environment and producers. *Annual Reviews of Ecology and Systematics* 4:25-51.
- Parker, L. W., H. Fowler, G. Ettershank and W. G. Whitford. 1982. The effects of subterranean termite removal on desert soil-nitrogen and ephemeral flora. *Journal of Arid Environments* 5:53-59.
- Pieper, R. D. and C. H. Herbal. 1982. Herbage dynamics and primary productivity of a desert grassland ecosystem. *New Mexico State University Agricultural Experiment Station Bulletin* 695, 42 pp.
- Pieper, R. D., J. Cm Anway, M. A. Ellstrom, C. H. Herbel, R. L. Packard, S. L. Pimm, R. J. Raitt, E. E. Staffeldt and J. G. Watts. 1983. Structure and function of North

American desert grassland ecosystems. New Mexico State University Agriculture Experiment Station Special Report 39. 298 pp.

Reinhold, B., T. Hurek, E. Niemann and I. Fendrik. 1986. Close association of Agosporillum and diuzotropic rods with different root zones of Kollar grass. Applied and Environmental Microbiology 52:520-526.

Rougier, M. and A. Chaboud. 1985. Mucilages secreted by roots and their biological functions. Israel Journal of Botany 34:129-146.

Schaefer, D. A. and W. G. Whitford. 1981. Nutrient cycling by the subterranean termite in a Chihuahuan Desert ecosystem. Oecologia, 48:277-283.

Schaefer, D., Y. Steinberger and W. G. Whitford. 1985. The failure of nitrogen and lignin control of decomposition in a North American desert. Oecologia 65: 382-386.

Verstraetae, M. M. 1986. Defining Desertification: a review. Climatic Change 9:5-18.

Westoby, M., B. Walker and I. Noy-Meir. 1987. Opportunistic range management for non-equilibrium rangelands. Journal of Range Management (submitted)

Whitford, W. G., Y. Steinberger and G. Ettershank. 1982. Contributions of subterranean termites to the "economy" of Chihuahuan Desert Ecosystems. Oecologia, 55:298-302.

Whitford, W. G., Y. Steinberger, W. MacKay, L. W. Parker, D. Freckman, J. A. Wallwork and D. Weems. 1986. Rainfall and decomposition in the Chihuahuan Desert. Oecologia 68:512-515.

Whitford, W. G., K. Stinnett and J. Anderson. 1987. Decomposition of roots in a Chihuahuan Desert ecosystem. Oecologia (submitted).

Wierenga, P. J., J. M. H. Hendrickx, M. H. Nash, J. Ludwig and L. A. Daugherty. 1987. Variation of soil and vegetation with distance along a transect in the Chihuahuan Desert. Journal of Arid Environments 13:53-63.

Wright, R. A. 1982. Aspects of desertification in Prosopis dunelands of southern New Mexico, U.S.A. Journal of Arid Environments, 5:277-284.

Wullstein, L. H., M. L. Bruening and W. B. Bollen. 1979. Nitrogen fixation associated with sand grain root sheaths (rhizosheaths) of certain xeric grasses. Plant Physiology 46:1-4.



# A Regional Center for New Crops and Agrisystems for Dry Lands in Mexico<sup>1</sup>

Kennith E. Foster and Robert G. Varady<sup>2</sup>

Virtually half of Mexico is arid or semiarid and is largely unsuitable for conventionally irrigated agriculture. The nation nevertheless has resolved to increase productive acreage in these regions. Success will require careful crop selection and development of innovative, adaptive cultivation systems. Establishment of a new crops and agrisystems center in Mexico is one strategy for demonstrating the feasibility of selected crops and techniques.

## INTRODUCTION

### Agriculture and Drylands in Mexico

According to Mexico's president, the nation's longstanding goal in agriculture is to "increase production at a higher rate than that of population growth" (de la Madrid 1984). Over the past two decades the country has accomplished this objective, but only barely, with production outpacing population by just two percent (IIED-WRI 1987). Progress has been slow and expensive, and constrained by insufficient arable terrain, limited physical resources, and scarce capital.

Under current economic planning, Mexico's agricultural sector is growing in absolute terms at an annual rate of about five percent. The sector's share of the gross domestic product has been declining steadily, however, from 14 percent in 1965 to just 8 percent in 1983 (World Bank 1985). Concurrently, a decreasing number of Mexicans belong to the agricultural labor force (36 percent in 1981 vs. 50 percent in 1965), while increasing numbers of rural residents are leaving ancestral farms for the cities and the northern frontier (World Bank 1985).

Serving as a backdrop to Mexico's agricultural development is the extreme limitation of cultivable acreage: under current criteria, less than a fifth

of the nation's total land surface is considered suitable for agriculture (table 1). Only two-thirds of this area currently is under cultivation. The remaining third of the arable acreage is viewed as marginal land, terrain into which agriculture may someday be extended. As table 1 shows, Mexican agriculture relies appreciably on irrigation; more than a fifth of the nation's farmland is irrigated. And, in spite of limited water supply, irrigated acreage is increasing modestly at the rate of approximately 1.5 percent per annum (de la Madrid 1984, IIED-WRI 1987).

Table 1. Agricultural area in Mexico.

Land type	Area	Percent of total	Information source
	(million ha)	(%)	(#)
Total land	192.3	100.0	1
Arid & semiarid	101.3	52.7	2
Permanent pasture	74.5	38.7	1
Cultivable	35.0	18.2	3
Cultivated	23.9	12.4	4
Marginal	11.1	5.8	3
Irrigated	5.1	2.7	1

<sup>1</sup>IIED-WRI (1987).

<sup>2</sup>Estimate based upon digitization of areas shown in UNESCO (1977).

<sup>3</sup>Poder Ejecutivo Federal (1983). The document defines marginal land as the difference between cultivable land and cultivated land (cropland).

<sup>4</sup>Average of 24.7 million ha in IIED-WRI (1987), and 23.0 in Poder Ejecutivo Federal (1983).

<sup>1</sup>Paper presented at the Strategies for Classification and Management of Native Vegetation for Food Production in Arid Zones Symposium, [Tucson, Arizona, October 15, 1987].

<sup>2</sup>Kennith E. Foster is Director of the Office of Arid Lands Studies, University of Arizona, Tucson, Arizona. Robert G. Varady is a Research Scientist at the Office of Arid Lands Studies. Significant contributions were made by the following scientists, all at the Office of Arid Lands Studies: Joseph J. Hoffmann, Charles F. Hutchinson, Barbara E. Kingsolver, and Martin M. Karpiscak.

Table 1 reveals a key to Mexico's agricultural prospects: more than half the land is arid or semiarid. Figure 1 shows the distribution of dry

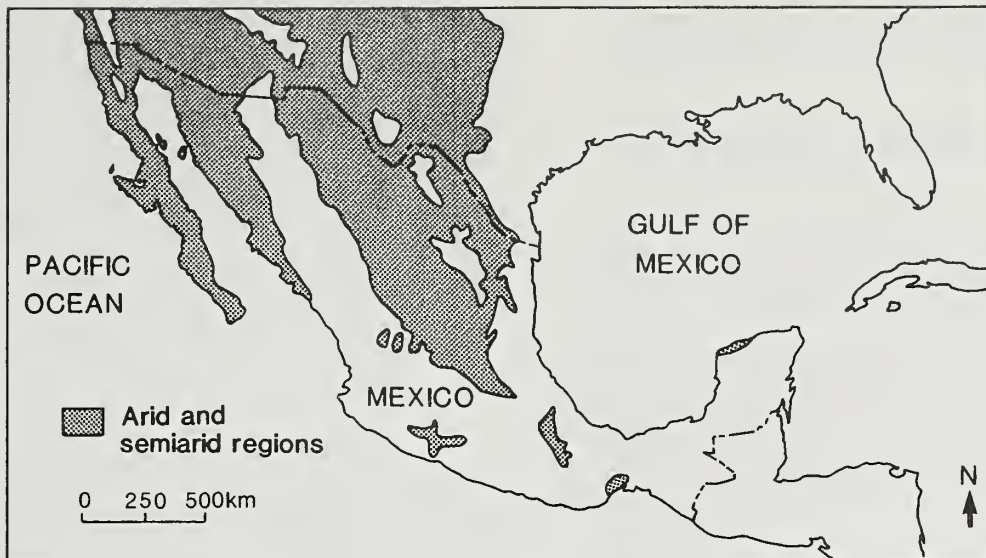


Figure 1. Arid and semiarid lands in Mexico.  
Adapted from UNESCO (1977).

regions in Mexico. Table 1 also shows that large tracts of land are used for grazing. Much of this permanent pastureland lies within the country's dry zones.

Table 1 and figure 1 highlight the limitations imposed by land availability. However, they fail to disclose other important constraints to improved productivity. For decades Mexican planners hoped that modern irrigation would extend cultivation and raise yields. Current plans call for continued modest increases in irrigated acreage (Poder Ejecutivo Federal 1983).

But rises in irrigated area are being achieved at ever higher costs. As the national economy strains to meet the growing costs of materials, equipment, labor, and energy, the irrigation network takes its toll on Mexico's limited environmental resources. Irrigation is highly water-consumptive and competes with demand from industry and urbanization for diminishing supplies. And, as evidenced north of the border in the intensively irrigated southwest, salinization of fertile cropland is an inevitable consequence of irrigation. For these reasons, few observers expect significant growth beyond present levels (Johnson, et al. 1983).

#### Prospects for Agricultural Development

In light of Mexico's critical shortage of cropland and the above evidence, two deductions emerge:

1. If agricultural production is to increase, the nation must exploit its vast dry terrain.
2. In those areas, traditional irrigation is unsuitable due to water scarcity, environmental consequences, and cost.

These findings are wholly consistent with stated Mexican policy. The current Five-Year Plan (Poder Ejecutivo Federal 1983) and presidential assertions (de la Madrid 1984) identify the following major objectives of agricultural policy:

1. Increase production to keep apace of population growth.
2. Strive for self-sufficiency in food production.
3. Extend cultivation to areas currently considered marginal; the Plan sets the target at 7.5 million ha over the next 20 years.
4. Allocate federal resources to develop agriculture in rainfed, dryland regions.
5. Promote rational, adaptive development that protects ecosystems (especially those in fragile arid zones), and defers to social and cultural patterns.
6. Enhance employment opportunities for, and raise the income of the rural population.
7. Limit expenditures of scarce resources.

In view of the foregoing data, it is reasonable to conclude that Mexico must develop innovative ways to extend agriculture within its marginal, arid and semiarid regions. Domestic objectives will not be met by introducing traditional irrigation in the drylands, so the nation should not expect these areas to produce wheat, rice, or other staple crops.

To achieve the best outcome, agricultural efforts in Mexico's water-short areas should be directed toward evaluation of nonconventional crops



and associated cultivation systems. Wherever possible, the resulting schemes should integrate cultivation, livestock production, and aquaculture.

## CENTER FOR NEW CROPS AND AGRISYSTEMS

### Motivation

Since the 1960s researchers in the United States and in Mexico have been identifying plant species occurring in North America's drylands. The Sonoran Desert alone, according to one estimate, supports about 2,500 species of seed plants, of which as many as 450 have been utilized as food (Felger and Nabhan 1978). The Chihuahuan Desert, the Baja California peninsula, and other dry regions of Mexico host additional edible species. Furthermore, a large number of the region's wild plants may be valuable as fodder, fiber, medicine, chemicals, and fuel.

In particular, several domestic vegetation growthforms offer commercial potential. These include ephemeral herbs and legumes, root perennials, cacti and succulents, trees and shrubs, sea-grasses, and saltgrass (Felger and Nabhan 1978, Felger 1979). The recent literature is replete with reports of research on such crops as acacia, agave, amaranth, buffalo gourd, cactus, canaigre, carob tree, coyote melon, creosote bush, eel grass, euphorbia, guayule, gumweed, jojoba, mesquite, saltbush, sunflower, tepary beans, and tumbleweed (see surveys by Peoples and Johnson 1983, and Johnson, et al. 1983).

To cultivate and commercialize nontraditional crops, scientists have developed a variety of creative technologies. Procedures have been devised for land evaluation; economic feasibility assessment; crop improvement, establishment, and maintenance; harvesting; processing; and product development. To maximize production efficiency and conserve resources researchers have adapted traditional agrisystems such as runoff water harvesting, floodwater farming, and evaporation suppression.

Together, the new crops and associated agrisystems offer the possibility of bearing low-input, high-yield, high-value products. These techniques, moreover, offer the promise of making efficient use of scarce water and fertile soils.

With suitable adaptation, the above schema can have broad applicability to Mexico's drylands. What is required is a set of new strategies for delivering and implementing proven and emerging technologies. Often, as some observers have noted, the limiting factor in such cases is not lack of proven technology, but scarcity of national resources (Niederhauser and Villareal 1986).

In the case under consideration, one possible strategy is to establish a regional center for new crops and agrisystems. The idea for such a center is not a new one. Similar propositions have been articulated in the recent past by E. M. Parsons (1983) of the U.S. Department of State (an international desert food research center): S. Taylor

(1985) of the U.S. Agency for International Development (a demonstration arid lands crop production center in northern Mexico); J. S. Niederhauser and M. Villareal (1986; a model based upon a regional potato research center); and Niederhauser (1986; a regional production and training center for Africa).

The present proposal is unique in three important respects. First, it is intended specifically for improving agricultural production in Mexico's drylands. Second, it is not limited to food crops. And finally, it provides for experimentation and research in addition to demonstration.

### Objectives

A center such as the one proposed herein is intended to be regional in scope. It would draw upon the strengths of established institutions on both sides of the border, pooling expertise and resources without competing or duplicating effort. The center would innovate agricultural development by combining proven, preexisting methods with promising, experimental techniques. This process would provide local growers and ranchers with alternative crops and agrisystems suited to local conditions, and thereby increase the productivity and income of participating communities.

More specifically, the proposed center would:

- Provide physical facilities such as test plots, experimental range, greenhouses, aquaculture ponds, runoff harvesting areas, instrumented laboratories, equipped research offices, and a documentation center
- Identify and screen candidate species
- Assess market potential and economic viability of products
- Conduct experiments and evaluations of crops, livestock, and fish
- Develop and test agrisystems
- Demonstrate practicality of approach and social acceptability of all recommendations
- Train farmers, technicians, and scientists

### Description

To achieve the above objectives, the center would integrate three major tasks: (1) plant selection and improvement, (2) agrisystem development, and (3) social and economic assessment.

### Plant Selection and Improvement

A major thrust of the proposed center's activity is to develop new, locally adapted crop plants. Procedures aim to select species that are either more profitable in an absolute sense, or less risky under

prevailing environmental conditions. Accordingly, the research plan focuses on selecting, characterizing, and improving species that hold near-term potential as new crops for Mexico's drylands. Center personnel would evaluate species yielding food products, animal feed, fuel, fiber, pharmaceuticals, and other saleable commodities. Indigenous, well-adapted species having demonstrated economic potential would be accorded highest priority.

Plants from marginal arid and semiarid lands are known for the complex arrays of secondary metabolites they frequently produce. Often, these substances arise as accommodations to the extreme conditions of heat, desiccation, and herbivory to which the plants are exposed. Because of these phytochemical adaptations, such plants represent a rich, largely unexploited source of chemicals.

To identify plants possessing marketable value, University of Arizona researchers have developed novel systems for screening arid-adapted species. These procedures begin by identifying species used by indigenous peoples, then consider such parameters as biomass yields, types and percentages of phytochemicals, and local unit production costs.

The proposed screening program considers production and processing requirements, nutritional or economic value of the products, and a host of location-specific variables. Plant ecophysiology is a major consideration since ability to cope with heat and water stress, poor soil quality, or salinity provides clear advantages over conventional crops.

The screening and development procedures were devised and tested in response to the need for new crops in regions of the Sonoran Desert, where conventional irrigation no longer can be maintained economically. Unlike the U.S. Department of Agriculture's screening system which employs criteria appropriate to temperate climates and typical agricultural soils, the "Arizona Method" was designed specifically for use in marginal drylands. This method takes into account the unique constraints imposed by arid environments on plant growth and agricultural practices.

#### Agrisystem Development

Arid and semiarid regions are characterized by rainfall regimes that are highly variable temporally and spatially. Generally, these regimes do not permit conventional cropping systems without supplemental irrigation.

One approach for overcoming the climatic limitations found in drylands focuses on introducing plants that are highly water-efficient (see above). Another, often complementary, approach introduces cropping systems that increase available water by using larger areas. The following alternative strategies may be employed, individually or in tandem, within this "extensive" approach:

- Allow widely spaced plants to take up moisture through root systems that tap larger

soil volumes, or that reach deep stored water (cereals, shrubs, and rangeland trees are crops that can be cultivated in this manner)

- Employ quick-maturing annual plants that can make use of moisture during the short periods it remains available

- Exploit existing concentrations of surface runoff, or manipulate large areas to induce runoff that may be captured and stored for later use (water harvesting is such a process)

As new, economically promising species are identified and improved, appropriate cultivation systems need to be formulated and refined. Available agrisystems include agroforestry, perennial culture, floodwater farming, water harvesting, relay or mixed cropping, and intercropping new species within established systems.

In Mexico's marginal drylands, labor-intensive agricultural strategies may be preferable to capital-intensive, highly mechanized, energy-intensive practices. For this reason, a key aspect of agrisystem development at the proposed center would be to examine and assess energy balances. Estimates of inputs such as fuel, fodder, mechanical or animal traction, human labor, and solar energy would inform choices of crops and associated production systems. A further consideration in maintaining overall energy balance is that manufacture, transport, and application of synthetic fertilizer is far more energy-intensive than use of available manure and other nutrients.

As noted, maintenance of agricultural systems in drylands depends primarily upon the source, supply, and management of water. Precipitation, diverted or pumped river or groundwater, and run-on are the sources of soil moisture for most plants; major system losses occur through evaporation, transpiration, runoff, and drainage. These parameters would be manipulated via techniques such as water harvesting, floodwater farming, and evaporation suppression. In some systems it may be possible to provide long-term storage of moisture in the soil to permit dry-season cropping. And, by means of plant breeding and development techniques, active periods of crop growth may be made to coincide with relatively short rainy seasons. To take advantage of all such possibilities, plant development and agronomy would be closely integrated.

Balancing the biogeochemical components of a farming or livestock system also is crucial to its effectiveness. System inputs include nutrients released from the soil or carried in rainfall and runoff, fixed nitrogen, and supplements of manure or other fertilizers. Losses arise from soil erosion, gaseous diffusion, and removal of plant materials at harvest. Successful introduction of new crops requires careful maintenance of the nutrient equilibrium.

In all cases, researchers would balance the merits and disadvantages of available alternatives. Additionally, implemented techniques would strive to minimize topsoil loss, waterlogging, salinity, and



other environmental degradation that often accompanies cultivation.

## Social and Economic Assessment

New, economically attractive alternatives are likely to be welcomed by farmers and ranchers. However, communities may be more willing to adopt agricultural systems if they require low capital investments and only minimal changes in established cultivation and herding patterns.

In a noted essay titled "They Do not Want More," an observer (Nair 1961) described a village in India, where for more than three years every cultivator had refused free irrigation water. To many this anecdote epitomized the perceived backwardness, intransigence, and irrationality of farmers in the developing world. The villagers' obstinacy symbolized the barriers to modernization.

More sympathetic views of peasant rationale now prevail. It is generally understood that there are ample reasons why villagers might refuse free water. Cultural practices or religious beliefs provide one explanation: farmers may have believed that the "essence" of the water had been removed by upstream hydro works, rendering the residual water impure for growing crops. Economic and political reasons for skepticism also abound: cultivators often are rightfully suspicious of hidden long-term costs, and are wary of dependency on sources beyond their control.

The introduction of new crops and farming techniques, like the introduction of free water, constitutes an incursion into established modes of production and livelihood. Thus, in deference to local customs and conditions, programs at the proposed center would assess the many social, economic, and political factors that could affect the success of new crops and agrisystems.

As a foundation social scientists at the center would identify and evaluate some of the factors associated with agricultural systems. In Mexico, Hispanic, Catholic, Native American ritual calendrical considerations for centuries have dictated planting, processing, and consumption of plants. Additional cultural and political factors such as the roles of family, class, gender, religious institutions, village organization and external relations, environmental perception, and the effects of regulation and patronage on use of water and land are central to rural society and influence agrarian practices. No less important are such local economic factors as production, storage, and marketing costs; availability of credit, equipment, seeds, and inputs; nature of business practices; and existence of supportive infrastructure. Other socioeconomic aspects of subsistence systems are less well understood, but exert considerable influence on agriculture.

Before recommending new crops or agrisystems, the center staff would examine all the above variables and evaluate their effects on prospects for successful innovation. If the Indian village described above provides a caveat, it is not that new

agricultural technology is impossible to introduce. Rather, the example illustrates that to succeed, any introduction should be preceded by cautious and sincere efforts to understand and accommodate the context of existing practices.

## Participating Institutions

As noted, the proposed center would serve regional needs and draw personnel from both the United States and Mexico. Numerous organizations in the two countries already are engaged in related agricultural development efforts. To be most effective, the new center would be affiliated with sister institutions, and would draw upon the resources of these establishments.

In Mexico alone, dozens of government agencies and research institutions include dryland development within their purview. Many of these organizations, by virtue of their location in deserts or semiarid regions, are dedicated to improving local agrarian conditions. Past collaboration between these centers and their U.S. counterparts has demonstrated a strong willingness to share information and technology.

The listing in table 2 below identifies some of the prominent Mexican institutions concerned with dryland agriculture (Hutchinson and Varady 1988, Johnson, et al. 1983).

Table 2. Mexican Institutions involved in Arid Lands Development.

- 
- Centro de Ecodesarrollo, México, D.F.
  - Centro Ecológico de Sonora (CES), Hermosillo
  - Centro de Estudios Superiores del Estado de Sonora (CESUES), Hermosillo
  - Centro de Investigaciones Agrícolas del Noroeste, Obregon, Sonora
  - Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur (CIB), La Paz
  - Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora (CICTUS), Hermosillo
  - Centro de Investigación y Desarrollo de los Recursos Naturales de Sonora (CIDESON), Hermosillo
  - Centro de Investigaciones Forestales y Agropecuarias en el Estado de Baja California Sur, La Paz
  - Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), Saltillo, Coahuila
  - Centro Regional para Estudios de Zonas Áridas y Semiáridas, Salinas, San Luis Potosí
  - Comisión Coordinadora del Programa de Desarrollo de las Franjas Fronterizas y Zonas Libres (CODEF), México, D.F.
  - Comisión Nacional de las Zonas Áridas (CONAZA), Saltillo, Coahuila
  - Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), México, D.F.
-

Table 2. (continued)

---

-- Coordinación General del Plan Nacional de Zonas Deprimadas y Grupos Marginados (COPLAMAR), México, D.F.  
 -- Escuela Superior de Agricultura Hermanos Escobar, Ciudad Juárez, Chihuahua  
 -- Instituto de Ecología, México, D.F.  
 -- Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.  
 -- Instituto de Investigación de Zonas Desérticas, San Luis Potosí  
 -- Instituto de Investigaciones de Estudios Superiores Noroeste (IIESNO), Hermosillo, Sonora  
 -- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, México, D.F.  
 -- Instituto Nacional de Investigaciones Pecuarias, Chihuahua  
 -- Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos, Xalapa, Veracruz  
 -- Instituto Tecnológico de Sonora, Obregon  
 -- Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila  
 -- Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México

---

#### CONCLUSION

The ideas discussed herein are proposed as a potential strategy for improving agricultural production in Mexico. As shown, much of the country's territory is dry and marginally productive. Cultivation will have to be extended to these regions if the agricultural sector is to improve. The proposed center would offer appropriate alternative crops and agrisystems, and mechanisms for introducing these innovations in the drylands of Mexico.

#### LITERATURE CITED

de la Madrid H., M. 1984. Second state of the nation report. 110 p. United Mexican States, Office of the President, Mexico, D.F.  
 Felger, R.S. 1979. Ancient crops for the 21st century. p. 5-20. *In* G. A. Ritchie, ed., New agricultural crops. 259 p. Westview Press, Boulder, Colo.

Felger, R.S., and G.P. Nabhan. 1978. Agroecosystem diversity: A model from the Sonoran Desert. p. 129-149. *In* N. Gonzales, ed., Social and technological management in dry lands. 199 p. Westview Press, Boulder, Colo.  
 Hutchinson, B.S., and R.G. Varady, eds. 1988 (forthcoming). Arid lands research institutions: A world directory, 3d ed. University of Arizona, Office of Arid Lands Studies, Tucson, Arizona.  
 International Institute for Environment and Development, and World Resources Institute (IIED-WRI). 1987. World resources 1987: An assessment of the resource base that supports the global economy. 369 p. Basic Books, New York, N.Y.  
 Johnson, J.D., C.F. Hutchinson, and B.S. Hutchinson. 1983. Natural resources: The potential for development in border regions of Mexico and the United States. p. 9-57. *In* S.R. Ross, ed., Ecology and development of the border region: Second symposium of Mexican and United States universities on border studies. 308 p. PROFMEX-ANUIES, Austin, Texas.  
 Nair, K. 1961. They do not want more. p. 47-48. *In* Blossoms in the dust: The human factor in Indian development. 206 p. F.A. Praeger, New York, N.Y.  
 Niederhauser, J.S. 1986. Regional production and training center: A strategy for agricultural assistance to Africa. 2 p. Unpublished paper.  
 Niederhauser, J.S., and M. Villareal. 1986. PRECODEPA, a successful model for a new concept in regional cooperation for international agricultural development. American Potato Journal 63:237-240.  
 Parsons, E.M. 1983. Food from the desert - a proposal for a new international research center: A case study. 25 p. 25th session, Executive Seminar in National and International Affairs. U.S. Department of State, Foreign Service Institute, Washington, D.C.  
 Peoples, T.R., and J.D. Johnson. 1983. Crop alternatives in semi-arid regions. p. 183-194. *In* E. Campos-Lopez and R.J. Anderson, eds., Natural resources and development in arid regions. 362 p. Westview Press, Boulder, Colo.  
 Poder Ejecutivo Federal. 1983. Plan nacional de desarrollo 1983-1988 [National development plan]. 430 p. Secretaria de Programacion y Presupuesto, Mexico, D.F.  
 Taylor, S. 1985. Personal communication with authors.  
 UNESCO. 1977. World distribution of arid regions. Map, scale 1:25 million. UNESCO, Paris, France.  
 World Bank. 1985. World development report 1985. 243 p. World Bank, Washington, D.C.



245

# SISTEMA INTEGRAL DE PRODUCCION AGROPECUARIA EN TEMPORAL EN EL LLANO DE AGUASCALIENTES, MEXICO<sup>1</sup>

S. Hernández, J. Andrade, R. Claverán, F. Gutiérrez, L. M. Macías, S. Martín del Campo, R. Ochoa, M. Tiscareño, A. Torres, A. Valdez, y R. Zapata<sup>2</sup>

Resumen.--Se evaluó en sistema agropecuario de temporal basado en cultivos básicos y forrajeros con la finalidad de lograr la autosuficiencia y el arraigo del productor a su región. Para tres años de evaluación el sistema logró cubrir las necesidades básicas alimentación de una familia.

## INTRODUCCION

El Llano de Aguascalientes se localiza dentro de las zonas áridas de México, donde la precipitación es escasa y de mala distribución en el verano y se presenta en un periodo no mayor a 90 días, lo cual ocasiona una estación de crecimiento del cultivo de solo 84 días. Los productores agropecuarios de esta región se dedican principalmente al cultivo de maíz y frijol bajo condiciones de temporal, los cuales utilizan para el autoconsumo familiar y son el producto básico para la alimentación.

La situación es condicionante para la permanencia del productor en su predio, ya que si el año fue bueno en precipitación y se logró obtener suficiente grano de maíz y frijol o forraje para alimentar su ganado, él no emigrará a las grandes ciudades o al extranjero, si fue malo él emigrará (Claverán, 1982).

En esta región, la agricultura de temporal ocupa aproximadamente a 65,000 habitantes en una superficie de 110,000 ha de las cuales 88,000 se destinan a maíz de temporal y 22,000 al frijol. La precipitación promedio anual es de 337 mm; sin embargo, la precipitación que ocurre en el periodo del cultivo es de 218 mm. La condición climá-

tica que prevalece, en general, en esta zona hace que se tenga un alto número de parcelas siniestradas por los bajos o nulos rendimientos obtenidos.

Como promedio de los últimos ocho años, se reporta que para maíz la tasa de siniestro fue del 66% mientras que para frijol del 65%, obteniéndose rendimientos promedios de sólo 128 kg/ha de grano de maíz y de 28 kg/ha de frijol (México, 1986).

Por otra parte, los productores de esta región cuentan con una superficie agrícola de 8.2 ha en promedio y sólo el 60% fertiliza los cultivos mencionados ya que los rendimientos no cubren los costos del fertilizante.

Se estima que los productores destinan el 54% de sus ingresos totales a la alimentación y que el 80% tienen otra actividad fuera de su predio con el fin de solventar la economía familiar (Díaz, 1984).

Con el objeto de lograr el arraigo del productor a su predio y mejorar su nivel de vida, se planteó integrar un sistema de producción agropecuario bajo condiciones de temporal con una superficie de 8 ha para la producción de productos básicos para la alimentación, con cultivos que generen ingresos por los excedentes y cultivos forrajeros que permitan alimentar animales para la obtención de proteína animal.

Para lograr tal objetivo se determinaron los rendimientos de alimentación básica para una familia promedio de seis miembros, así como la necesidad de forraje para alimentar a un rebaño caprino con la finalidad de fijar una meta que indique el grado de logro obtenido.

## MATERIALES Y METODOS

El estudio se desarrolla en El Llano de Aguascalientes, en las instalaciones del Campo

<sup>1</sup>Ponencia presentada en la Reunión sobre Estrategias de Clasificación y Manejo de Vegetación Silvestre para la Producción de Alimentos en las Zonas Áridas. (Tucson, Arizona, E.U.A., 12-16 de Octubre de 1987).

<sup>2</sup>Ramón Claverán A. Vocal ejecutivo zona centro INIFAP-SARH, Méx., J. Andrade, F. Gutiérrez, S. Hernández, L.M. Macías, S. Martín del Campo, R. Ochoa, M. Tiscareño\*, A. Torres, A. Valdez y R. Zapata. Investigadores del Centro de Investigaciones Forestales y Agropecuarias del Estado de Aguascalientes. SARH, México.

Agrícola Experimental Auxiliar Sandoval (CAEAS), perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias en el estado de Aguascalientes.

El CAEAS se localiza en el centro de México, dentro del estado de Aguascalientes, y geográficamente en el paralelo 102°17' al oeste de Greenwich y en el 22°10' de latitud norte a una altura de 1,950 msnm.

El clima característico de la región de El Llano pertenece al tipo BSK (w)(e), según W. Koepfen y modificado por García en 1970, el cual corresponde al clima seco estepario con temperatura media anual entre los 12 y 18°C con tendencias de oscilaciones extremas mayores a 14°C, con temperatura del mes mas cálido superior a 18°C y la del mes mas frío entre -3 y 18°C. La precipitación media anual registrada en los últimos 10 años es de 337 mm, ocurriendo en el verano el 60% y el resto en los meses invernales.

Los suelos del CAEAS son del tipo predominante en la región los cuales son delgados y de baja fertilidad con textura arcillo-arenosa y con problemas de compactación.

El presente estudio se inició en 1983, mediante participación de investigadores de varias disciplinas, por lo que los cultivos asignados se establecieron de acuerdo con las recomendaciones de paquetes tecnológicos generados por investigaciones realizadas en terrenos del CAEAS.

El estudio contempla las fases siguientes:

1. La factibilidad agronómica para sustentar a la familia y los animales, con los rendimientos obtenidos de los cultivos establecidos en una superficie no mayor de 8 ha.
2. La evaluación económica del sistema de producción con todos sus componentes en operación.

Los cultivos se establecieron en una superficie de 8 ha, de las cuales se utilizaron 2 ha para maíz, 1 ha para frijol, 2 ha para forraje, 1 ha para papita guera y 2 ha para nopal tunero. Con excepción del nopal tunero y la papita guera, el resto de los cultivos anuales se rotaron año con año dentro del mismo terreno.

Con la distribución espacial mencionada, se pretende que el productor obtenga los productos básicos para su alimentación y crear un excedente con fines de comercialización, el cual provendrá principalmente de la papita guera y el nopal tunero, y de esta manera obtener ingresos para adquirir otros productos básicos que no se pueden producir en el predio.

Es importante mencionar que la papita guera es un cultivo no domesticado perteneciente al género Solanum siendo identificadas dos especies principales que son cardiophyllum y ehrenbergii.

Se cree que su origen es del centro de México y aparece sin siembra alguna en terrenos cultivados de maíz y frijol bajo temporal. El tubérculo es de consumo humano y los productores lo cosechan para autoconsumo y su venta en ciudades donde tiene una alta demanda.

Los caprinos entrarán en funcionamiento en la Fase 2 y serán del tipo predominante en la región, donde los rebaños tienen algunas características de la raza Nubia. Se utilizarán cinco cabras y un semental, la alimentación será del forraje cosechado de la superficie de forrajes y de los esquilmos del maíz y frijol, se espera obtener con esto un rendimiento medio de 1,200 litros de leche anuales del sistema.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados siguientes corresponden a la Fase 1 del estudio y son para los años 1983, 1984 y 1985.

Los rendimientos esperados para cada cultivo, así como los requerimientos familiares, fueron fijados al iniciar el estudio (Cuadro 1). Los requerimientos de una familia de seis miembros se tomaron con base en un estudio efectuado por el Programa Nacional de Alimentación del Gobierno Federal, el cual indica un requerimiento anual de 780 kg de grano de maíz y de 216 kg de frijol (PRONAL, 1983).

Cuadro 1. Superficie y rendimientos esperados para los cultivos del sistema integral de temporal.

Cultivo	Sup. (ha)	Producción esperada (ha)	Requerimiento Familiar
Maíz	2	600 kg	780 kg
Frijol	1	400 kg	216 kg
Forraje	2	1.9 ton <sup>1</sup>	3,800 kg <sup>2</sup>
Papita guera	1	1,200 kg	
Nopal tunero	2	440 cajas	
Total	8		

<sup>1</sup>Materia Seca incluyendo esquilmos.

<sup>2</sup>Requerimientos del rebaño.

En los casos de la papita guera y el nopal tunero no se fijaron los requerimientos familiares ya que no constituyen alimentos de necesidad básica.

Por su parte, los rendimientos esperados se calcularon con base en los resultados de investigaciones efectuadas en el CAEAS.

En el caso del maíz se obtuvo un rendimiento medio anual de 733.6 kg en el sistema, en 1985 fue inferior al esperado (581 kg); sin embargo, el balance indica que se produjeron 134 kg de -



maíz por arriba de lo esperado, siendo realmente crítico un solo año (Cuadro 2).

Los productores de la región obtuvieron un rendimiento de sólo 500, 130 y 117 kg/ha de maíz para los años de 1983, 1984 y 1985, y se presentó siniestro en el 13.3, 54.6 y 46.4% de las parcelas de maíz en los mismos años de estudio (Méx. SARH<sup>1</sup>, 1986).

Cuadro 2. Rendimientos de cultivos establecidos en el sistema de producción agropecuario de temporal para tres años de estudio.

Cultivo	1983	1984	1985	Balance x anual
Maíz	760	860	581	+ 134
Frijol	360	940	457	+ 180
Papita	1,500	3,090	3,318	+ 1,436
Nopal <sup>1</sup>				
Prec. (mm)	294	292	349	

<sup>1</sup>Años de establecimiento del nopal tunero.

Para el frijol se ha obtenido un excedente de 180 kg como promedio de los tres años, 1983 fue el año más crítico a causa de que la precipitación fue escasa en la etapa de floración. Al tomar en cuenta que una familia requiere de 216 kg de frijol por año se creó un excedente de 369 kg en promedio por año, lo cual puede destinarse a la comercialización.

Para los mismos años de estudio, el productor regional obtuvo 188, 90 y 91 kg de grano de frijol por hectárea y existió una tasa de siniestros en las parcelas cultivadas con frijol de 30, 57.6 y 34% (Méx. SARH<sup>1</sup>, 1986).

El cultivo que todos los años ha mostrado excedentes es la papita guera, ya que el rendimiento esperado ha sido superado en promedio con 1,436 kg por año y en ningún año se ha obtenido rendimientos inferiores a lo programado.

El nopal tunero se encuentra en el periodo de establecimiento por lo que no se mencionan rendimientos ya que el producto del cultivo es la fruta, la cual se presentan a partir del quinto año de la plantación.

Los forrajes que se han establecido en el sistema de producción integral son la avena y el sorgo x sudan, donde se obtuvieron rendimientos de 900 kg/ha de materia seca de avena como promedio de 1983 y 1984 y de 750 kg/ha de materia seca para el sorgo x sudan en 1985. La producción de esquilmos ha sido significativa ya que han aportado el 75% del suministro total de forrajes dentro del sistema.

<sup>1</sup>SARH, Secretaría de Agricultura y Recursos Hídricos.

La producción media total de forraje disponible es de 6.94 ton de materia seca lo cual ha proporcionado excedentes en forraje tomando en consideración las necesidades del hato caprino (Cuadro 3).

Cuadro 3. Rendimientos de forraje y esquilmos en 2 ha del sistema de producción agropecuario de temporal para tres años de estudio.

	1985 Avena	1985 Avena (ton)	1985 Sorgo x Sudán
Forraje (2 ha)	2.20	1.36	1.48
Esquilmos	5.28	6.10	4.41
Total:	7.48	7.46	5.89
Balance <sup>1</sup>	+3.68	+3.66	+2.09
Precipitación (mm)	294	292	349

<sup>1</sup>Producción - Requerimientos.

Los excedentes en forraje disponible que cada año se han presentado han sido capaces de formar una reserva de 9.4 ton de materia seca, la cual puede ser utilizada en los años de nula producción de forraje o de incrementar el número de caprinos.

Tiscareño, et al., en 1983 reportan en el estado de Zacatecas, México, un sistema de producción agropecuario de temporal para la producción de leche basado en forrajes de corte y granos básicos para autoconsumo, donde se registran 290 mm de precipitación. La rentabilidad del sistema fue de 377,702 pesos, mientras que el sistema tradicional de maíz para grano fue de 256,460 pesos, ambos en una superficie de 20 ha.

Las condiciones climáticas que se han presentado en los años de estudio, han sido desicivas en los rendimientos obtenidos ya que la precipitación captada por el cultivo ha sido escasa y sin uniformidad.

En 1983 se captaron 294 mm en el periodo lluvioso de junio a septiembre, abarcando el cultivo 79 días de dicha estación, el cultivo más afectado fue el frijol. Para este año la precipitación en el periodo lluvioso fue del 77% con respecto al total anual. La Figura 1 presenta la gráfica de distribución de la precipitación.

En la Figura 1 se presentan los requerimientos de agua de los cultivos expresados en la evapotranspiración al 50% (ETP.5), ya que las plantas sólo muestran condiciones óptimas de humedad en pequeños periodos de la estación de crecimiento pero que la mayor parte de la estación de crecimiento muestran déficit de humedad.

En 1984 se observó una distribución más --

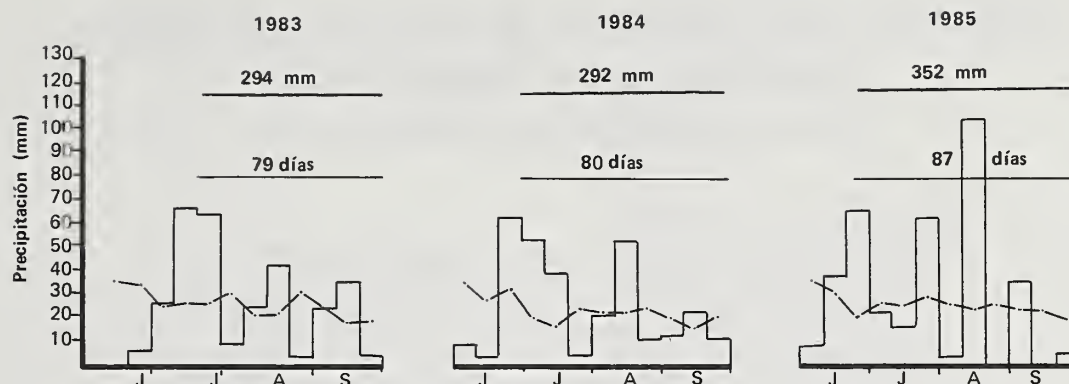


Figura 1. Distribución de la precipitación, evapotranspiración al 50 o/o por decena mensual y ciclo vegetativo del cultivo en la estación lluviosa en El Llano, Ags., México.

uniforme, donde los déficit de humedad fueron menos pronunciados, por lo que se obtuvieron los mejores rendimientos de los cultivos comparados con 1983 y 1985. Para 1984 los cultivos abarcaron 80 días del periodo lluvioso y se captó el 73% de la precipitación total anual.

En 1985 la precipitación mostró la mayor irregularidad ya que se presentaron eventos de más de 100 mm en agosto de manera torrencial, provocando que poca agua fuera aprovechada por la planta y que por lo tanto existió un déficit cuando se encontró en la formación del grano. En este año los cultivos abarcaron 87 días de la estación lluviosa, y se captó el 75% de la precipitación total anual.

En esta región son comunes los eventos torrenciales, que ocasionan pérdidas de suelo y escasa retención de humedad; Martínez, reportó pérdidas de suelo de 12.6 y 16.8 ton/ha para 1980 y 1981 con precipitaciones de 94 y 252 mm, respectivamente, en terrenos del sistema de producción en estudio.

Por último, el sistema logró ser autosuficiente en maíz, frijol, forraje y papita guerra. El nopal tunero aún no rinde frutos por lo que su evaluación será en la Fase 2. De acuerdo con la superficie asignada se tuvo altas producciones de papita guerra (3,318 kg) por lo que se considera excesiva y por lo tanto conviene reducir la superficie.

#### CONCLUSIONES

1. Para 1983, 1984 y 1985 los cultivos lograron rendimientos satisfactorios por lo que el sistema de producción fue autosuficiente.
2. La papita guerra permite tener excedentes de comercialización con precipitaciones bajas, lo cual disminuye el riesgo biológico del sistema.

3. El cultivo más afectado por la sequía fue el sorgo x sudan por lo que la avena fue más conveniente para el sistema de producción.

#### LITERATURA CITADA

- Claverán, R.A. 1983. Segunda Reunión de Investigación de Papita Guerra. Inedito. Chapingo. México.
- Díaz, H.C. 1984. Características Físicas y Sociales y Economía Familiar Campesina Seminarios del CREZAS-CP. 1983. Colegio de Postgraduados. Centro Regional para Estudio de Zonas Áridas y Semiáridas. Salinas de Hidalgo, S.L.P. México.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Ed. UNAM. 2da. Ed. Imp. Méx. p. 246.
- Martínez, M.A., G. 1980. Determinación del Balance Hídrico en Maíz de temporal en Aguascalientes. Resúmenes de Investigación en Maíz. 1980. INIA-CIANOC. SARH. México.
- Martínez, M.A.G. 1981. Determinación del Balance Hídrico Regional en Maíz Bajo temporal en Aguascalientes. Resúmenes de Investigación en Maíz. 1981. INIA-CIANOC. SARH. México.
- PRONAL. 1983. Programa Nacional de Alimentación 1983-1988. BANAMEX LIX (696) 548-555. México.
- SARH. 1986. Índice de Siniestralidad en Maíz y Frijol de Temporal. Jefatura de Subprograma de Economía Agrícola. Aguascalientes, México.
- Tiscareño, M., C. Sánchez y C. García. 1982. Sistema de producción de leche basado en forrajes de corte en condiciones de temporal. Resúmenes de Investigación en Forrajes. 1982. INIA-CIANOC. SARH. México.



# 245 MANEJO ECOLOGICO DE UN BOSQUE DE PINOS PINONEROS EN TAMAULIPAS

Humberto Suzán<sup>1</sup> y José Antonio Galarza<sup>2</sup>

Resumen.- En poblaciones de Pinus nelsonii se han realizado estudios dasométricos, demográficos, de clasificación de sitios forestales, de germinación de semillas, de composición florística y de uso de plantas por los habitantes de la zona. Se ha encontrado un marcado efecto de ladera, uso múltiple del bosque y efectos de sobrecolecta en las poblaciones naturales.

## INTRODUCCION.

"y son mejores que los de Castilla".  
Alvaro Núñez Cabeza de Vaca (1528-1536).

Los pinos piñoneros de Norteamérica han sido utilizados con muy diversos fines desde épocas prehispánicas como una fuente de productos alimenticios, maderables, ceremoniales y como leña, siendo así un producto básico en la economía familiar de los habitantes de regiones donde existen pocos medios de subsistencia, especialmente en los meses de otoño e invierno cuando se da la cosecha de semillas, siendo por lo tanto un recurso vital cultural y alimenticio. Fogg (1965).

El primer occidental en tener contacto con los piñoneros de América, y con las etnias que lo aprovechaban en el Norte del país y Sur de los Estados Unidos aparentemente fue Alvaro Núñez, naufrago de la catastrófica expedición de Pánfilo de Narváez en 1528, encontrando probablemente poblaciones de Pinus cembroides, o de Pinus edulis como reporta Lanner (1981), basado en los relatos del libro "Naufragos y Comentarios".

El contacto continuo del hombre con el piñón, ha ocasionado que las características de las poblaciones, así como la composición florística y estructural del bosque estén íntimamente relacionados con la historia de los habitantes que utilizan este recurso.

La mayor diversidad de especies productoras de piñón del mundo, está en México con 15 sp según Bailey y Hawksworth (1987), destacando como las dos más

productivas en el país Pinus cembroides y Pinus nelsonii.

Pinus cembroides presenta un amplio rango de distribución en las Sierras Madre Oriental y Occidental, y ha sido objeto de diversos estudios entre los que destacan los de Robert (1977), y Passini (1982).

Pinus nelsonii es una especie de distribución restringida al Noreste del país, poco estudiada y con una producción anual de semillas, característica poco común en la mayoría de los pinos mexicanos; La testa de su semilla es muy dura y de mayor grosor que la de otras especies, lo que podemos observar al compararlas con las de P. cembroides, por lo que la incidencia de ataques por insectos es baja.

La almendra de Pinus nelsonii es de un color blanco y sabor agradable (es preferida por los habitantes de la zona), y presenta un porcentaje de proteínas similar al de P. cembroides, pero una mayor proporción de fibras, haciéndolo atractivo nutricionalmente.

Estas propiedades de la semilla, así como su alta capacidad para sobrevivir en zonas semiáridas y frías determinaron que el Instituto de Ecología y Alimentos de la U.A.T. lo considerara como una especie de importancia económica actual y potencial que debiera ser estudiada con detenimiento dentro del proyecto "Recursos Vegetales del Noreste".

Para Pinus nelsonii actualmente contamos con información descriptiva de su autoecología en Suzán (1985, 1987) donde se reportó su distribución geográfica; y se seleccionó una población piloto en el Cañon del Soldado Municipio de Miquihuana Tamaulipas a unos 2,000 msnm. La localidad es de clima seco semiseco templado, con rocas calizas del cretácico, y con suelos calcáreos, someros y con un Ph neutro Para su descripción se formaron tres estratos verticales (E1 ladera Sur, E2 márgenes del arroyo, E3 ladera Norte), pa donde se realizó un muestreo aleatorio

<sup>1</sup>Humberto Suzán. Investigador titular, Instituto de Ecología y Alimentos de la Universidad Autónoma de Tamaulipas. Tamps Mex

<sup>2</sup>José A. Galarza. Auxiliar de Investigador (Hasta Enero 1987).

estratificado por cuadrantes de 20m por lado analizándose la distribución espacial, sus características dasométricas, su estructura de edades, y su producción de conos, para realizar una clasificación de sitios forestales, y estudiar la relación clima-crecimiento.

#### OBJETIVOS

Los objetivos del presente trabajo son conjuntar en base a la información ecológica obtenida algunas sugerencias de manejo de la especie, interesándonos a su vez estudiar las variables dasométricas de la población, estimar la producción semillera del bosque, realizar una clasificación de los sitios forestales, iniciar estudios sobre conos y germinación de semillas, describir la vegetación y fauna asociada, y generar una lista de especies útiles de la localidad.

#### METODOLOGIA.

- Con las variables dasométricas de la población (Altura, Altura a la base de la copa, radio de cobertura, edad, diámetro a 1.3m, número de conos y número de marcas) se realizó un Análisis de componentes principales.

- Para la clasificación de los sitios forestales de la población piloto se determinaron en cada uno de los cuadrantes muestreados el número de adultos, el número de plántulas, el de piñas producidas por sitio (1985), el área basal total, la cobertura vegetal y su ubicación en las laderas. Con estas variables se realizó un análisis de cúmulos.

- Para analizar las características de los conos y germinación de semillas en condiciones de vivero se colectaron todos los conos de individuos dominantes de gran tamaño en las siguientes localidades: Colonia la Peña y Cañon del Soldado municipio de Miquihuana; y la Joya de Herrera municipio de Bustamante. A los individuos colectados se les registraron sus características dasométricas habituales. A cada piña colectada se le midió el largo, ancho, peso, su número de semillas, y el peso de las semillas. Se realizó un análisis de componentes principales para analizar las relaciones entre estas variables. Los ensayos de germinación se efectuaron con las semillas colectadas, estudiando las diferencias en porcentajes y tiempos de germinación de los árboles padre, y analizando también el efecto de sombra (90%, 75%, 50%, 25% de sombra y control a plena luz) en un experimento factorial 5 por 12. Para eficientizar la germinación en viveros, se analizó el efecto de dos tipos de escarificación mecánica (lijado y fractura), y dos químicas (HCL y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>),

con 3 tipos de estratificación a 4 grados centígrados (1 y 2 meses previo a la escarificación, y un mes posterior a la estratificación), realizándose en una cámara ambiental a temperatura, humedad y fotoperíodo constante quedando un experimento factorial de 5 por 4 (por los testigos).

-Entre Mayo de 1986 y Mayo del presente año se han realizado muestreos de vegetación en diversos bosques de coníferas del estado, con el objetivo de caracterizarlos fisonómicamente estructural y florísticamente. De estos muestreos 10 se han realizado en bosques de pinos piñoneros, basándose en cuadrantes de 20m por lado para vegetación arbórea, 10m para arbustiva, y 1m para el estrato razeante de la vegetación. Las variables consideradas en este análisis son: especie, altura, dap, a.b.c., y dos radios de cobertura para árboles; altura y dos diámetros de cobertura para arbustos; y cobertura para herbáceas. Se ha registrado también los parásitos, depredadores y especies animales relacionadas con el piñon.

-Los listados de especies colectadas en la comunidad se compararon con el banco de datos de las plantas útiles del estado, generándose un listado de plantas utilizadas por los habitantes del bosque.

#### RESULTADOS.

-La población piloto del Cañon del Soldado, se encuentra poco alterada, teniéndose una mayor densidad en los estratos E2 y E3 (657.3 y 606.1 ind/ha, que en E1 (337.5) ind/ha. En el cuadro 1. podemos ver las estimaciones del tamaño de la población, y las tendencias detectadas con respecto a la distribución espacial. En E1 y E2 se observan tendencias al contagio, en tanto que en E3 a la aleatoriedad. En E1 las mayores condiciones de insolación y en E2 la alta competencia con individuos de otras especies (es la base del arroyo) pueden ser las causas de esta distribución contagiosa. Con las estadísticas descriptivas de las diferentes variables, consideradas para los individuos se puede apreciar que los árboles son uniformes, de pequeña altura, con la base de la copa baja, los radios de cobertura uniformes y los diámetros pequeños, las diferencias existentes en las estructuras de edades indican que la carencia de juveniles en el primer estrato puede ser el resultado de condiciones de una mayor insolación, a una sobrecolección de semillas (es el sitio más abierto y accesible), y a un sobrepastoreo detectado en el área.



Cuadro 1.- Descripción de la población piloto.

	E1-A	E2-B	E3-C	E2-A	E2-B	E2-C	E3-A	E3-B	E3-C
DENSIDAD	337 IND/HA			657 IND/HA			606.1 IND/HA		
VAR(X)/MED(X)	3.22 **			11.96**			1.16		
# DE IND.	42	9	3	89	81	93	102	34	78
DAP (cm)	7.3	1.3		7.4	1.4		7.7	1.7	
ALT-BAS-COPA	0.7	0.3		0.7	0.6		0.8	0.4	
(m)									
ALT (m)	3.6	1.7		3.5	1.8		3.2	1.7	
RAD- COB (m)	1.5	0.5		1.5	0.5		1.4	0.5	
CONOS	5.2	0.4		4.3	0.1		4.1	0.1	

\*\*Rechazada la hipótesis de aleatoriedad con un nivel de significancia del .05%.

A= árboles >= de 3cm de diámetro; B= árboles < de 3 cm.

C= plántulas.

Al realizarse el Análisis de Componentes Principales (ACP) de las variables por cada estrato los resultados no arrojaban ninguna diferencia en la estructura de correlación de las variables como se menciona en Suzán (1985). por lo que se realizó un análisis para toda la población. En el cuadro 2. podemos observar los resultados del ACP para toda la población, la matriz de correlaciones nos indica una fuerte asociación del DAP con la Altura y el RC; así como una asociación media con la edad y el número de marcas. La ABC presenta bajas correlaciones, y la edad y número de piñas permanecen ligeramente independientes. Los tres primeros componentes explican el 83% de la variación. El primero de ellos está conformado por la altura, DAP, RC y número de marcas, explicando el 61% de la variación, y se puede interpretar como el grupo de variables resultado del crecimiento individual, en tanto que el segundo explica el 13% de la variación,

Cuadro 2.- Análisis de Componentes Principales de los árboles.

N=358.		MATRIZ DE CORRELACIONES					
	DAP	ALT	R.C	A.B.C.	EDAD	MARCAS	CONOS
DAP	1	0.85	0.85	0.39	0.63	0.72	0.48
ALT		1	0.82	0.47	0.61	0.62	0.51
R.C			1	0.32	0.58	0.64	0.55
A.B.C.				1	0.32	0.21	0.16
EDAD					1	0.42	0.34
MARCAS						1	0.52
CONOS							1
-----							
COMPONENTES			C1		C2		C3
PROP DE LA VARIACION			0.61		0.13		0.08
-----							
EIGENVECTORES							
	C1		C2		C3		
DAP	0.447		0.05		-0.017		
ALT	0.440		0.109		-0.021		
R.C	0.433		-0.095		-0.088		
A.B.C	0.233		0.817		0.460		
EDAD	0.351		0.151		-0.561		
MARCAS	0.376		-0.306		0.222		
CONOS	0.313		-0.431		0.658		

conformado por la ABC.

-Para determinar la relación de los sitios forestales, se realizó un análisis de cúmulos en base a un esquema aglomerativo con distancias promedio a los centroides. El dendrograma resultante se presenta en la figura 1. La separación entre los cuadrantes con exposición Norte y Sur es fácilmente detectable, debido a que los sitios de muestreo ubicados en laderas con exposición Norte tenían una mayor producción de piñas, área basal y altas densidades (ver Suzán y Gonzales 1984).

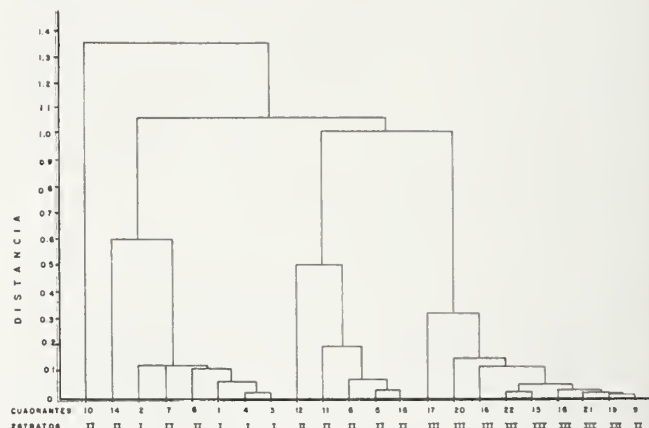


Figura 1.- Dendrograma resultante del análisis de cúmulos para cuadrantes del Cañon del Soldado.

-Para la colecta de semillas se seleccionaron 4 árboles de cada localidad que presentaban vigor y gran tamaño. Las características morfológicas de las piñas, así como el número de semillas por piña se encuentran en el cuadro 4. donde de 110 conos analizados se tenía un promedio de 50.78 semillas por piña, y un peso de 101.4 gr por piña.

Al realizar un Análisis de Componentes Principales, encontramos que únicamente existe una alta correlación entre el número de semillas y su peso por piña, ocasionando que ambas variables conformen el primer componente y expliquen el 49% de la variación. El segundo componente expresa la morfología del cono, y el tercero su peso. Estos componentes pueden ser utilizados para discriminar individuos y localidades, así como para ordenar y clasificar árboles semilleros.

Los ensayos iniciales de germinación se realizaron en Febrero de 1986, y el primer experimento consistió de un diseño factorial con 5 niveles de sombra, 12 árboles y 3 repeticiones de lotes de 10 semillas cada una.

En el ANDEVA se encontraron diferencias entre padres, sombras y una pequeña interacción. En el cuadro 4. tenemos un resumen de los resultados, donde se ve que

Cuadro 3.- Análisis de Componentes Principales de los datos de los conos.

ESTADÍSTICAS SIMPLES					
N=110	LARGO CONO	ANCHO CONO	NUMERO SEMILLAS	PESO CONO	PESO SEMILLAS.
MEDIA	9.93cm	5.61cm	50.78	101.4g	27.45g
DES. EST	2.12	0.93	28.1	87.1	15.48
MATRIZ DE CORRELACIONES					
	LARGO C	ANCHO C	NUM SEM	PESO C	PESO SEM
LARGO C	1	0.264	0.237	0.244	0.046
ANCHO C		1	0.262	0.248	0.368
NUM SEM			1	0.923	0.354
PESO C				1	0.433
PESO SEM					1
COMPONENTES					
PROP DE LA VARIACION	C1		C2		C3
	0.49		0.19		0.18
EIGENVECTORES					
	C1	C2	C3		
LARGO C	0.261	0.696	-0.521		
ANCHO C	0.346	0.567	0.464		
NUM SEM	0.563	-0.300	-0.265		
P. SEM	0.575	-0.310	-0.219		
P. C	0.401	-0.076	0.627		

Cuadro 4.- Pruebas de rango múltiple (Duncan) para los porcentajes de germinación. Factores árbol y sombra.

FACTOR ARBOL			FACTOR SOMBRA		
	MEDIA	ARBOL		MEDIA	SOMBRA
A	2.53	8 C.P.	A	2.805	90%
A	2.20	5 C.P.	B	2.25	75%
A	2.13	3 C.S.	C	1.12	50%
A B	2	2 C.S.	D	0.08	25%
A B	1.8	11 J.H.	D	0	TESTIGO
B C	1.26	6 C.P.	-----		
C D	0.93	1 C.S.			
E C D	0.86	4 C.S.			
E C D	0.53	7 C.P.			
E C D	0.53	12 J.H.			
E D	0.4	10 J.H.			
E	0.07	9 J.H.			

\* NOTA : Las medias con las misma letra no presentan diferencias significativas.

C.P.= Colonia la Peña ; C.S.= Cañon del Soldado;

J.H.= Joya de Herrera.

las semillas responden mejor a mayores sombras, siendo probable que en condiciones naturales estas necesiten un docel para la germinación y primeros estadios de crecimiento. Al mismo tiempo vemos que los árboles padre con valores más bajos de germinación corresponden a la Joya de Herrera (árboles 9,10,11,12), y los más eficientes a el Cañon del Soldado (1,2,3,4) y Colonia la Peña (5,6,7,8). En el ensayo de estratificación y escarificación, había diferencias significativas en el modelo y en la

Cuadro 5.- Prueba de rango múltiple (Duncan) para los porcentajes de germinación. Factor escarificación.

		MEDIA	NIVELES
A		2.2	LIJADOS
B		1.35	H2S04
B		1.3	TESTIGO
C		0.55	GOLPE
C		0	HCL

\* las medias con la misma letra no presentan diferencias significativas.

escarificación, en tanto que en la estratificación no se encontraron. En el cuadro 5. vemos los resultados de la prueba de rango múltiple para estratificación, donde las semillas lijadas son las más eficientes. (Cabe recordar que existe una fuerte interacción con un corvido que transporta semillas en el buche friccionandolas, ayudando al rompimiento de la testa).

Al analizar la vegetación de los bosques de Pinus nelsonii se han detectado tres estratos verticales, uno arbóreo con un docel muy abierto, cuya altura varia entre 3 y 7 m; un estrato subarborescente poco definido, y uno herbáceo.

En el Estrato arbóreo se encontró una dominancia de Pinus nelsonii, Pinus cembroides, Juniperus monosperma, Litsea glaucescens, Sophora secundiflora, y Quercus pringleii entre otras.

El estrato arbustivo presentaba diferencias en densidad, y su altura oscilaba entre 1.5m y 2.5m. Las especies más comunes son Arctostaphylos pungens Quercus pringleii, Philadelphus sp., Dasylium texanum y Dasylium logissimum entre otros.

En el estrato herbáceo, encontramos Euphorbia antisyphilitica, Castilleja sp y algunas cactáceas en peligro de extinción como Pelecypora pseudopectinata.

El listado florístico inicial agrupa a 97 especies, y los estudios sobre composición florística, estructura y ordenación de las comunidades se están realizando actualmente.

Con respecto a la fauna asociada, encontramos que Pinus nelsonii está menos expuesto a parásitos que los demás pifoneros, pues de las 12 principales plagas, solo se ha reportado a Leptoglossus occidentalis un hemóptero que se alimenta de conillos y semillas provocando su aborción. En la zona encontramos un último refugio del oso negro en el Noreste del país, el cual junto a algunos roedores consumen pifon en diversos estadios. Finalmente se ha detectado una aparente relación mutualística con Amphelocoma mexicana y Amphelocoma ultramarina azulejos que consumen grandes cantidades de pifon, pero que las transportan sin dañarlas seleccionando posteriormente las que consumirán.



Cuadro 6.- Plantas útiles del Cañon del Soldado.  
(Tomaos del banco de datos de Luis Hernández)

FAMILIA	ESPECIE	USOS
AGAVACEAE	Agave lechuguilla	1,2,4,5,6,9
	A. striata	4,8
	Dasyllirion longissimum	2,9
	D. texanum	1,2
ANACARDIACEAE	Rhus aromatica	1,2,5,7,6
	Rhus pachyrrachis	9
	Rhus virens	1,3,7,9,
BIGNONIACEAE	Chilopsis linearis	6,7,8
BORRAGINACEAE	Antiphytum heliotropioides	9
CELASTRACEAE	Orthosphenia mexicana	5,10
CACTACEAE	Opuntia rastrera	7
	Pelecophora pseudopectinata	8
COMPOSITAE	Brickellia veronicaefolia	7
	Chrysactinea mexicana	7
	Fluorencia laurifolia	6
CRUCIFERAE	Lesquerella fendleri	2
CUPRESSACEAE	Juniperus monosperma	6,7,8
ERICACEAE	Arctostaphylos glaucescens	2,7
EUPHORBACEAE	Euphorbia antisiphilitica	5,7,9,10
FAGACEAE	Quercus microphylla	6,9
KRAMERIACEAE	Krameria cystioides	3,7
LABIATAE	Salvia ballotaeflora	1
	Teucrium cubense	7,8
LAURACEAE	Litsea glaucescens	2,7,9
LEGUMINOSAE	Acacia berlandierii	6,7,10
	Bahuinia ramosissima	7
	Sophora secundiflora	6,10
OLEACEAE	Fraxinus gregii	7,9
ONAGRACEAE	Oenothera kunthiana	7
PALMAE	Brahea dulcis	2,6,9
PINACEAE	Pinus cembroides	2,6,7,9
	Pinus nelsonii	2,6,9
	Pinus pseudostrabus	6,9
RANUNCULACEAE	Clematis drummondii	7
ROSACEAE	Cowania plicata	7,8
	Lindleya mespiloides	8
	Prunus serotina	1,2,6,7,9,10
	Vauquelinia corymbosa	3
RUTACEAE	Ptelea trifoliata	2,6,7,9
SAPINDACEAE	Dodonaea viscosa	5,6,7
SAXIFRAGACEAE	Fendlera linearis	6,7
SCROPHULARIACEAE	Castilleja canescens	7
VITACEAE	Parthenocissus quinquefolia	7,9,10.

1: Bebidas; 2: Comestibles; 3: Curtientes; 4: Fibras; 5: Industriales  
6: Maderables; 7: Medicinales; 8: Ornamentales; 9: Otras; 10: Toxicas.

-Al comparar el listado de la vegetación con los de plantas útiles encontramos una riqueza en cuanto a la flora útil, pues hay 40 especies en uso, dandonos casi un 50% de las plantas detectadas en la localidad, destacando por su importancia las plantas medicinales, comestibles y productoras de fibras.

#### CONCLUSIONES.

1.- Existe un marcado efecto de ladera en las características de la población, por lo que no se pueden dar esquemas únicos de manejo.

2.- Las variables de crecimiento se encuentran fuertemente asociadas, a excepción de la Altura a la Base de la Copa.

3.- La productividad de los árboles de la zona es mayor que la de los de Nuevo León que reportan Flores et-al (50.78 contra 28.9 semillas por cono), y 27.4 contra 24.3 gramos de semilla por cono.

4.- La especie es resistente a plagas, debido en parte a la dureza de su testa, y aunado a su aparente producción anual de semillas la hacen apropiada para cultivarse.

5.- Los bosques de Piñoneros del área sustentan una comunidad biótica importante, y los piñones juegan un papel importante en el metabolismo del mismo, por lo que aunado a la gran cantidad de plantas útiles y en peligro de extinción debe ser considerada como área prioritaria de conservación.

#### BIBLIOGRAFIA

-Bailey D.K. y Hawksworth.F.G (1987) Phytogeography and taxonomy of Pinyon Pines. II Congreso Nacional de Pinos Piñoneros. En Prensa.

-Eguiluz, P.T. (1985). Descripción botánica de los Pinos Mexicanos. IX Congreso Mundial Forestal.

-Flores, L.J y Caldera, H.F.(1985). "Características de los conos de algunos piñoneros en relación al ataque de insectos. Memorias del Primer Simposio Nacional de Pinos Piñoneros. UANL. pp 223-233.

-Fogg, G.G. (1966). "The Pinyon-pines and man". Econ For 20,1:103-105.

-Laner, R.M. (1981). The pinyon-pine. A natural and cultural history. University of Nevada Press. Nevada.

-Martinez, M. (1948). Las pinaceas mexicanas. ED BOTA.

-Morrison, D>F. Multivariate statistical methods. Mc Graw Hill. N.Y.

-Passini, M.F. Les forets du Pinus cembroides Au Mexique. Etudes mesoamericanes II-5. Edit Recherche sur les Civilizations.

-Suzán, H (1985) "Estudios autoecológico - dendrocronológicos en Pinus nelsonii". Memorias del Primer Simposio Nacional de Pinos Piñoneros. UANL. pp 137-147.

-Suzán, H (1987) "Estudios ecológicos de Pinus nelsonii en Tamaulipas". II Simposio Nacional de Pinos piñoneros. en prensa.

# SISTEMAS DE PRODUCCION EN ZONAS ARIDAS: EXPERIENCIA EN LATINOAMERICA<sup>1</sup>

Lorenzo J. Maldonado Aguirre<sup>2</sup>

Resumen.- El presente trabajo describe los principales Sistemas de Producción de tipo concurrente, que para efectos de esta exposición denominaremos Sistemas Agroforestales; de los cuales, los más comunes en América Latina son: El Agro-silvocultural, El Silvopastoral y el Agrosilvopastoril.

## INTRODUCCION

Las zonas áridas y semiáridas se distribuyen en más de 150 países, en donde habitan cerca de 628 millones de personas; la superficie de estas regiones es superior a 64 millones de km<sup>2</sup> lo que representa el 43% de la tierra emergida; solamente en América del Sur, con una superficie de 17'805,475 km<sup>2</sup>, 3'375,079 km<sup>2</sup> son considerados áridos; esta superficie equivale al 18.72% del área territorial que ocupa. Los países latinoamericanos más afectados por condiciones de aridez son: Argentina, con un 60% de su superficie, México con el 55%, Chile con el 50%, Perú con el 20%, Bolivia 13%, Brasil 10% y Venezuela 5% - - (Cuadro 1).

## ANTECEDENTES

Las regiones áridas de América del Sur están confinadas a una franja a lo largo de la Costa Occidental y a una área de la parte Oriental - de la Cordillera de los Andes hacia la porción Sur del Continente, a latitudes que van de los 5 a los 56° de latitud sur (figura 1).

Las zonas áridas de América del Norte, se ubican en los Estados Unidos de Norteamérica y en la República Mexicana; comprende cinco grandes regiones que son: El Desierto Sonorense, Desierto Chihuahuense, Mojave, Gran Cuenca y Baja California.

CUADRO 1. Distribución de las zonas áridas de América del Sur.

PAISES	SUPERFICIE TOTAL KM <sup>2</sup>	ZONAS ARIDAS KM <sup>2</sup>	PORCENTAJE POR PAIS	PORCENTAJE AMERICA LATINA
Argentina	2 789 241	1 673 544.6	60	9.40
Bolivia	1 098 581	142 815.5	13	0.80
Brasil	8 511 965	851 196.5	10	4.78
Chile	756 945	378 472.5	50	2.12
Perú	1 285 215	257 043.0	20	1.44
Venezuela	912 050	45 602.5	5	0.25
Otros países	408 796	24 405.1	6	0.13
Totales:	17 805 475 km <sup>2</sup>	3 373 079.7 km <sup>2</sup>	34	18.92%

## LAS ZONAS ARIDAS DE LATINOAMERICA

Las tierras áridas de Latinoamérica se encuentran regionalizadas en los siguientes tipos de desierto: El Desierto Peruano, El de Atacama, Monte, Patagónico y el Desierto de México; desiertos que poseen características específicas que a continuación se resumen:

<sup>1</sup> Trabajo presentado en la Reunión "Estrategias de Clasificación y Manejo de Vegetación Silvestre para la Producción de Alimentos en Zonas - Áridas". Tucson, Az; USA. 12-16 de Octubre 1987.

<sup>2</sup> Ing. Lorenzo J. Maldonado Aguirre, Director del Centro de Investigaciones Forestales y Agropecuarias en el Estado de Nuevo León. General Terán, N.L.; México.





FIGURA 1. Zonas Áridas de Sudamérica (Meigs)

Desierto Peruano. Este Desierto se localiza en el Perú en las costas y vertientes del pacífico así como en las sierras formadas por los andes, extendiéndose hacia el norte limitando con el Ecuador; se distinguen varios gradientes de déficit pluviométrico, agrupándolos en el desierto costero del norte formado por la región de la sierra; los valles aluviales de la costa y las lomas costeras; y la porción superior de la vertiente occidental andina formado por las zonas alto andinas y valles interandinos; el desierto costero peruano se vuelve menos árido hacia el norte, entrando en franca ecotonía en su porción sur con el desierto de atacama. Toda el área tiene un clima medio durante el año, con pequeñas variaciones de temperatura del verano al invierno; la niebla y las altas humedades relativas son regla general en esta región.

Desierto Atacama. Es el Desierto costero más seco del mundo con una precipitación pluvial de 10 a 65 mm al año, su distribución se localiza en el

extremo sur de Perú y en la porción norte de Chile, a una latitud sur que va desde los 17 a los 30°; esta caracterizado por rangos altitudinales que oscilan desde el nivel del mar hasta los 1,000 m.; en su parte oriental se encuentra una depresión longitudinal que consiste en una serie de cuencas cerradas de 40 a 80 km de ancho, estas cuencas se han formado de material de origen aluvial acarreado de los cañones de los andes; en el norte el sur es esquelético derivado de las montañas y valles; en las planicies centrales se han desarrollado suelos pobres de textura gruesa y con depósitos pedregosos. En forma general, este desierto se encuentra casi desprovisto de vegetación a excepción de las vegas y deltas de las corrientes de agua y en las laderas humedecidas durante el invierno.

Desierto Monte. Esta región se extiende desde los 24° 35' a los 44° 20' de latitud sur en la parte media de la patagonia y desde los 62° 54' de longitud oeste en la costa del atlántico hasta los 69° 50' de longitud oeste en el interior; se localiza en la zona preandina, ocupando bolsones intermontanos; la precipitación pluvial es generalmente menor de 200 mm ocurriendo durante el verano; la oscilación térmica es alta durante el invierno el cual es frío durante toda la temporada y el verano es de clima moderado; este desierto se desarrolla en depresiones, formando planicies bajas, limitadas por montañas altas; es común encontrar características fisiográficas tipificadas por depresiones arcillosas, cuencas saladas, dunas, conos aluviales, mesetas, pendientes y formaciones montañosas.

La vegetación dominante en este desierto esta formada por arbustos resinosos de la familia Zigophyllaceae; los pastos perennes se localizan únicamente en los lugares más húmedos, por lo que respecta a especies arbóreas ocasionalmente se encuentran en las márgenes de los ríos formando los bosques de galera.

Desierto Patagónico. El desierto de la patagonia es el único desierto costero con exposición oriental situado en el más alto rango latitudinal hacia el sur, por lo que se considera que no tiene similitud con ningún otro desierto del mundo; esta situación es debido a que las montañas andinas forman una barrera a las masas de aire húmedo del oeste y a la corriente fría de las malvinas de la costa oriental.

Se localiza a todo lo largo de la Argentina bordeando las estribaciones orientales de la cordillera andina formando un desierto costero y de estepas de más de 1,500 km de longitud, limitado por las latitudes sur de 39 a 53°; se estrecha en su parte oriental en una distancia promedio de 560 km hacia las planicies, extendiéndose al sur hasta llegar al océano atlántico.

El clima de esta región, es el templado frío muy seco con la presencia de vientos constantes; la precipitación pluvial es de 150 a 300 mm al año con lluvias en verano; su geomorfología esta representada por extensas mesetas con una altitud de 1000 msnm, este rango altitudinal va disminuyendo paulatinamente a medida que se acerca el mar y termina en acantilado a lo largo de la costa.

Los suelos son superficiales, de textura media, asentados sobre calizas ligeramente ácidas y con la presencia de grava en la superficie, lo que evita de que a pesar de los vientos constantes la erosión eólica no sea tan avanzada.

La vegetación esta formada por especies xerofíticas, de gramíneas y de arbustos de diferentes géneros.

Por lo que respecta a las zonas áridas de México, se han diferenciado el Desierto Chihuahuense, el Sonorense y el de Baja California, que en su conjunto cubren más de 105 millones de hectáreas, lo que representa alrededor del 55% de su territorio nacional; en estos lugares se asientan más de 10 millones de habitantes con una densidad media de 11 personas por km<sup>2</sup>, con fuertes oscilaciones, ya que en algunas regiones se cuenta con dos habitantes por km<sup>2</sup>, mientras que en otras existen hasta 90 personas (figura 2).



Desierto Chihuahuense se localiza en la parte norcentral del país, entre la Sierra Madre Oriental, el Eje Neovolcánico y la Sierra Madre Occidental.

Desierto Sonorense se encuentra limitado por la Sierra Madre Occidental y la Costa del Mar de Cortés.

Desierto de Baja California, localizado en la península del mismo nombre y conocido también como Desierto de Neblinas, formado por los vientos provenientes del poniente que son enfriados por las

corrientes oceánicas que bañan al litoral del océano Pacífico.

En estas regiones existe una flora muy variable que comprende más de 2,200 especies, perteneciendo por lo menos a 600 géneros de 122 familias, destacando especies con diferente valor utilitario, que van desde las leñosas, forrajeras, industriales, medicinales, ornamentales y alimentarias.

#### SISTEMAS DE PRODUCCION

De acuerdo a las estadísticas de la superficie de estos desiertos, a los datos dramáticos del avance de la desertificación y al aumento progresivo de la población que demanda alimentos y otros satisfactores, obliga a los organismos internacionales a desarrollar estrategias con el enfoque de sistemas de producción, que por una parte permitan la utilización, conservación y restauración de los elementos agua, suelo y biota y por otra a que estos sistemas activen los diferentes procesos del desarrollo económico.

El principal factor de deterioro de los elementos agua, suelo y biota; proceso acentuado en las condiciones ecológicas que caracterizan a los desiertos, es el aumento de actividades surgidas básicamente por el incremento de las poblaciones humanas que impacta en forma considerable a estos frágiles ecosistemas.

La necesidad de abrir nuevas áreas al cultivo destinadas a la producción de proteínas de origen vegetal en las regiones fértiles y húmedas, van dislocando la actividad pecuaria a las zonas marginales áridas y semiáridas y el aumento de ganado en estas áreas conlleva al sobrepastoreo, infiriendo como consecuencia en la regeneración natural y en la sucesión de la vegetación en sus diferentes etapas; es así como paulatinamente van desapareciendo los efectos producidos por los árboles, arbustos y especies herbáceas, reduciendo las defensas contra la erosión eólica, contra la erosión producida durante la estación de lluvias, cambios en la temperatura del suelo y una marcada desecación de los mismos.

En grandes superficies de Latinoamérica, las prácticas agrícolas tradicionales han empobrecido tanto la tierra que los rendimientos productivos disminuyen en forma drástica, perdiendo así su importancia económica, lo que obliga a la mayoría de los habitantes rurales a cambiar este sistema de producción por las actividades pecuarias.

Este simple cambio ocasiona un nuevo avance del desierto cuando no se toman las medidas necesarias para la utilización adecuada del recurso, como sería la aplicación de prácticas culturales y de -



manejo más eficiente, así como utilizar especies apropiadas y más productivas.

En una óptica de gran visión en Latinoamérica se reconocen dos grandes grupos de sistemas de aprovechamiento de la tierra.

El productor tradicional, que obtiene del suelo mediante su trabajo y el de su familia - los productos que demandan su economía doméstica y el productor empresarial que se orienta a actividades de alta densidad económica como una respuesta a las condiciones del mercado externo o interno para cubrir demandas alimentarias o de materias primas para la industria.

El productor tradicional de acuerdo a la - historia, ha desarrollado en su cultura los sistemas trashumantes, que se dedican a la recolección de productos forestales principalmente, al pastoreo de bovinos, de caprinos y especies de pelo; y los sistemas sedentarios que corresponden al grupo de los cultivos de cereales, cría de ganado doméstico, plantación de frutales, etc.

El productor empresarial aunque aporta importantes beneficios económicos, el uso intensivo de los recursos en algunas circunstancias afecta tan al medio ambiente como contaminación del suelo por el uso excesivo de agroquímicos, cambios físicos del suelo por el uso continuo de maquinaria, sobrepastoreo en el área de pastizales, deforestación en las regiones boscosas etc.

La aridez de una región, los factores sociales, políticos y económicos, determinan que el "riesgo" y la "escasez de recursos" sean características típicas en la mayoría de las unidades de producción de las zonas áridas de Latinoamérica; ante tal situación el productor busca la oportunidad de desarrollar una actividad o combinaciones de ellas que le permita mayor estabilidad en el ingreso familiar; esta idiosincracia hace que los sistemas de producción sean sumamente intrincados y complejos ya que muchos agricultores en una misma parcela y en un mismo año, siembran más de un cultivo; varios cultivos son usados con el propósito de alimentar al hombre y a los animales; aprovechan la fauna silvestre como alimento, vestido y actividades cinegéticas; la flora es utilizada en forma de leña, de frutos silvestres, como medicinal, como industrial, o bien para alimento de ganado, etc.; por lo que estos factores son determinantes en el establecimiento de sistemas de producción del tipo concurrente, que para efectos de esta exposición denominaremos sistemas agroforestales.

Aunque estos sistemas han sido practicados - desde hace miles de años, no es hasta recientemente

que se le ha dado atención científica, debido a que los ecosistemas forestales del mundo y particularmente los de América Latina, están sujetos a una constante y creciente presión de agricultores y ganaderos de subsistencia, presión que ha causado daños severos y en ocasiones irreversibles.

El sistema agroforestal, es un sistema de manejo que incrementa la producción de la tierra, al combinar la producción de diferentes cultivos agrícolas con la producción de árboles y de ganado ya sea en forma simultánea o consecutivamente y en una misma unidad de terreno, aplicando - además prácticas de manejo que son compatibles con las prácticas culturales de la población local.

En otras palabras, es la integración de la agricultura, ganadería y la actividad forestal.

Propiamente aplicado, los sistemas agroforestales son simultáneamente productivos y de carácter conservacionista del medio ambiente, ya que no tiene tan solo la particularidad de incrementar la provisión de alimentos, la leña y el ingreso a los agricultores o ganaderos de tierras marginadas, sino que también ayuda a detener la destrucción de las áreas forestales.

Los sistemas agroforestales más comunes en América Latina son: el agrosilvocultural, el silvo pastoral y el agrosilvopastoril.

El sistema agrosilvocultural define como el uso consciente y deliberado del terreno para la producción concurrente de cultivos agrícolas y cultivos forestales; el desarrollo de este sistema debe localizarse perfectamente en base a las costumbres de aprovechamiento más tradicionales y que encajen en los modelos socioeconómicos existentes.

La posibilidad de plantaciones masivas de especies leñosas en terrenos que ordinariamente se consideren agrícolas, tiene como objetivo el aumento de suministro de madera además de contribuir de manera directa, a la producción de alimentos mediante los frutos o forrajes que producen estos árboles; o de manera indirecta proporcionando protección contra el viento y el sol, reestableciendo los nutrientes del suelo y en algunos casos aumentando la fijación de nitrógeno.

Desde hace mucho tiempo, los agricultores han cultivado árboles junto a sus cultivos. Esta práctica tiene su origen en la observación pragmática de que la presencia de árboles mejora los rendimientos, o son una respuesta a la gradual desaparición de algunas especies en los bosques.

Además del aumento de la productividad, - existe la ventaja de tener mayor seguridad y un mejor y más diversificado régimen alimenticio - debido a la variedad de productos disponibles.

En Latinoamérica existe muy poca información sobre el sistema agrosilvícola esto es entendible si consideramos que las cantidades de lluvia son bajas y no permiten el desarrollo de cultivos tradicionales de temporal y cuando sucede es sólo en pequeñas áreas o en años de alta precipitación pluvial.

Los cultivos que suelen asociar son maíz, cebada, trigo, sorgo, frijol, yuca, etc.

Una práctica muy común en esta región es la utilización de cosechas de agua para algunos frutales o bien las mismas especies nativas de potencial económico.

El sistema silvopastoril consiste en el -- aprovechamiento de forrajes en las poblaciones o plantaciones forestales, utilización de especies forestales de sombra en pastizales y/o mejoradores de la fertilidad, utilización de especies forestales como fuente de alimento para el ganado y utilización de árboles frutales en pastizales.

El sistema silvopastoril es poco común en las zonas áridas de América Latina, es más frecuentemente practicado en las praderas de selvas y bosques naturales; sin embargo, el uso múltiple de árboles y arbustos para alimento y ramoneo -- en las regiones secas es altamente importante ya que en ellas se sustentan más de la mitad del ganado bovino existente en el mundo, más de una tercera parte de ovejas y dos terceras partes de cabras; sin embargo, la productividad es muy baja y la interacción de los factores climáticos - con los sociales y económicos, llevan periódicamente a la degradación de los ecosistemas y a la pérdida de su capacidad productiva.

El continuo pastoreo ha sido la actividad - más destructiva de las regiones áridas de sudamé rica, propiciando una eliminación progresiva de las especies forrajeras más apetecibles por el - ganado.

Por ejemplo, en las laderas costeras de Perú, el pastoreo de ganado, especialmente de cabras, disminuye el valor de forraje y decrece la regeneración natural de plántulas de árboles y - arbustos.

Lo mismo sucede en Chile, donde el sobrepastoreo causado particularmente por caprinos, junto con la extracción de leña para combustible y el cultivo excesivo de cereales, han degradado la -

vegetación favoreciendo el predominio de especies de bajo valor alimenticio para el ganado, desapareciendo casi por completo la cubierta vegetal en extensas áreas.

En la mayor parte de los países de la América Latina se realiza una ganadería del tipo extensivo.

Una de las muestras más representativas de - esta práctica extensiva, es la trashumancia del - ganado que es llevado a pastorear a la cordillera andina durante la temporada de verano en el Hemisferio Sur; en Chile por ejemplo, el promedio anual de cabezas de ganado mayor llevadas a esta cordillera durante los meses de diciembre a abril es de aproximadamente 200 mil que representan alrededor del 30% del ganado chileno.

El sistema agrosilvopastoril consiste en manejar el suelo para la producción de cosechas agrícolas, animales domésticos y flora y fauna silvestres, sistema que se identifica con los anteriormente descritos, siendo su establecimiento casuístico de acuerdo a las condiciones del lugar.

En la actualidad, al analizar los sistemas de producción descritos con anterioridad, se observa - que la conservación y desarrollo de los elementos Agua, Suelo y Biota en América Latina, no han podido traspasar la barrera de la incompatibilidad, - debido principalmente a que en los planes de desarrollo económico no se consideran los aspectos de conservación porque los beneficios para fines contables no son tangibles. A esta situación se le debe añadir los sistemas tradicionales de producción. La carencia de tecnologías integrales y las condiciones sociales, económicas y culturales de las poblaciones rurales que dependen de estos recursos.

#### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Aún cuando se detectan lagunas en el conocimiento de los sistemas de producción, sí se pueden definir y recomendar actividades que tengan como metas la utilización, conservación y restauración de los recursos Agua, Suelo y Biota; la consecución de estas metas pueden lograrse a través de las siguientes acciones específicas:

- Intensificar las actividades relativas al inventario y evaluación de los recursos naturales - en las regiones áridas y semiáridas para lograr un conocimiento más amplio de sus estructuras y funcionamientos.
- Fomentar estudios en relación a las causas y - efectos de los procesos de erosión y elaborar - metodologías para la recuperación de áreas erosionadas.



- Llevar a cabo estudios ecológicos en las relaciones suelo-agua-planta-animal e interpretar sus procesos con el fin de utilizar estos recursos en forma eficaz.
- Desarrollar y utilizar tecnologías para el aprovechamiento de los recursos hídricos disponibles.
- Bajo el enfoque de sistemas analizar la productividad de las zonas áridas para diseñar tecnología para un manejo integrado, permanente y productivo.
- Desarrollar tecnologías para la conservación in situ de los recursos genéticos de la flora y fauna silvestres.
- Desarrollo y utilización de técnicas de aprovechamiento de la energía solar, eólica y otras formas no convencionales de energía.
- Identificar e intensificar el aprovechamiento de los recursos bióticos de zonas áridas para su uso en el campo de la industria, la medicina y la artesanía, así como alimento.
- Desarrollar métodos y sistemas de predicción del clima, en particular en lo relativo a la sequía y su efecto en la producción y productividad silvoagropecuaria y de la fauna silvestre.
- Desarrollar y utilizar tecnologías orientadas a la selección de plantas y animales resistentes a la aridez y rescatar los métodos autóctonos para su posible reutilización.
- Incrementar los estudios demográficos y socioeconómicos inherentes a los ecosistemas áridos y semiáridos.

Además de estas acciones específicas, donde se engloban razones físicas, económicas y sociales; la estrategia de desarrollo para Latinoamérica debe encaminarse a establecer sistemas de producción integral que permitan en primer lugar, promover la integración horizontal de la producción (manejo agro-silvo-pastoril) y, en segundo lugar la integración vertical de los productos obtenidos, con su elaboración y comercialización (agro-industria) a fin de maximizar y optimizar el gasto de energía en cada uno de los sistemas de producción identificados en Latinoamérica.

La problemática que representa el deterioro de las comunidades vegetales, y el grado de avance de la desertificación en muchas regiones y la baja productividad, no se debe someter a una estrategia de conservación y producción a través de sistemas adecuados de aprovechamiento sino que es una "necesidad imperiosa".

Lo anterior se identifica con los principios emanados por FAO-UNESCO en 1980:

"La conservación de los recursos naturales en su más amplia expresión, se define como la utilización de la biósfera por el ser humano, de tal suerte que aporte beneficios sostenidos para las actuales generaciones, pero que mantenga su potencialidad, para satisfacer las necesidades y aspiraciones de las generaciones futuras".

Abstract.- This paper describes the most important Agroforestry Production Systems in Latin America; which are: Agrosilvocultural, Silvopastoral, & Agrosilvopastoral.

#### BIBLIOGRAFIA

- ANONIMO. 1977. Reforestación de la Pampa del Tamarugal. Chile Forestal. Año 2, No. 2.
- BELTRAN, E. 1955. México y sus Zonas Áridas. Problemas y Perspectivas. En mesas redondas sobre problemas de las zonas áridas de México. Inst. Mex. Rec. Nat. Renov. México.
- CAMPOS L.E. 1979. Por los Desiertos del Mundo. Centro de Investigación en Química Aplicada. Desierto y Ciencia. Año 1. No. 1.
- CONAF. Evaluación de las Neblinas Costeras (Camanche) en el Sector del Tofo. Proyecto hidrológico de utilización del suelo y agua de escurrencia. Folleto informativo, 20 p. Editorial del Norte. Chile.
- CONTRERAS, A.A. 1955. Definición de las Zonas Áridas y su Delimitación en Territorio Mexicano, en mesa redonda sobre problemas de las zonas áridas en México. I.M.R.N.E. Ac. México.
- DE LA CRUZ, C.J.A. y ZAPIEN, B.M. 1974. El Campo Experimental Forestal de Zonas Áridas de Sayceda, Ramos Arizpe, Coah. Boletín Divulgativo - No. 36 SAG. INIF.
- FINDLEY, R. 1977. Desiertos de América. Edición Diana.
- FLORES, R.M.A. 1981. La Silvicultura y el Desarrollo Rural. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 36 p. Estudio FAO. Roma.
- GARCIA, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. UNAM.

- HABIT, A.M. 1981. Prosopis Tamarugo: Arbusto - forrajero para Zonas Áridas. Organización de - las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 143 p. Roma.
- HERNANDEZ, X.E. 1963. Zonas fitogeográficas - del Noreste de México. Memoria del Congreso - Científico Mexicano. UNAM.
- KARLIN, ULF. 1983. Recursos Forrajeros Natura- les del Chaco Seco: Manejo de Leñosas. II Reu- nión de Intercambio Tecnológico en Zonas Ari- das y Semiáridas. Córdoba. Argentina.
- LEOPOLD, S.A. 1960. Vegetación Zones of Mexico. Ecology. Vol. 31.
- MALDONADO, A.L.J. Zonas áridas. Ciencia Fores- tal 3. Vol. I. Instituto Nacional de Investi- gaciones Forestales.
- MALDONADO, A.L.J. 1979. Caracterización y usos de los recursos naturales de las zonas áridas Ciencia Forestal No. 20, Vol. 4. Instituto Na- cional de Investigaciones Forestales. México.
- MALDONADO, A.L.J. 1980. Clasificación de tipos de vegetación de zonas áridas y semiáridas de México. Arid Land Resource Inventories: United States Departament of Agriculture. Forest. Ser- vice. Reporte WO-28.
- MALDONADO, A.L.J. 1985. Sistemas de Manejo pa- ra la Vegetación Leñosa en Zonas Áridas en Mé- xico. (Estudio de caso en la Universidad de - Producción Ejido Pozo de Calvo, Torreón, Coa- huila, México).
- MARROQUIN, J. et al. 1961. Estudio ecológico - dasonómico de las zonas áridas de México. Pu- blicación Especial No. 2. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México.
- MARTINEZ, M.L. y MALDONADO, A.L.J. 1973. Impor- tancia de las zonas áridas en el desarrollo ge- neral del país. PRONASE. Secretaría de Agricul- tura y Ganadería. México.
- PARRA, H.H. 1978. Conferencia de las Naciones Unidas sobre Desertificación. Ciencia Forestal No. 15. Vol. 3. Instituto Nacional de Investi- gaciones Forestales. México.
- RZEDOWSKY, J. 1978. Vegetación de México. Escue- la Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto - Politécnico Nacional. Editorial Limusa.
- SAEEDI-GHOMI, M.H. y MALDONADO, G.R. 1982. Po- tencial de la flora de las zonas áridas. CONACYT. Ciencia y Desarrollo. Año VIII. No. 47.
- TINTO, J.C. Utilización de los recursos fores- tales argentinos. Instituto Forestal Nacional.
- UICN-PNUMA-WWF. 1980. Estrategia Mundial para la conservación. 69 p. Gland. Suiza.
- VASCONCELOS, M.B. 1983. Sistemas y componentes de producción agropecuaria en el árido brasile- ño. II Reunión de Intercambio Tecnológico en Zo- nas Áridas y Semiáridas. Córdoba, Argentina.
- VINES, R.A. 1960. Trees, shrubs and woody vines of the southwest. University of Texas Press. Austin, Texas.



245

# PASTOREO SIMULADO EN TRES ETAPAS VEGETATIVAS DE *MUHLENBERGIA PORTERI*<sup>1</sup>

Ricardo Almelda Martínez<sup>2</sup> y Gary B. Donart<sup>3</sup>

Resumen.- Se hicieron mediciones de 19 variables a un grupo de plantas de *Muhlenbergia porteri* representando tres estados fenológicos en un primer año, y posteriormente en un segundo año para ver efecto de corte simulado. Se empleó análisis multivariado, análisis discriminante, para eliminar variables, resultando que la altura de la planta, define de mejor manera el efecto del corte al inicio del ciclo vegetativo.

## INTRODUCCION

El pastoreo en su forma natural ocurre en el campo impactando a una población de plantas, las cuales en un ciclo anual generalmente se diferencian en etapas fenológicas, o etapas de crecimiento. La caracterización estructural de etapas fenológicas de una población vegetal se realiza con la medición de múltiples variables, que generalmente, por el número de datos acumulados, dificultan sus evaluaciones. Con la computación se pueden emplear metodologías que eliminan aquellas variables que ofrecen poca información, lo cual facilita la fase de análisis, algunas de estas son las metodologías estadísticas que corresponden al análisis multivariado, entre ellos el análisis discriminante (Goldstein y Dillon, 1978; Dagnalíe, 1971). Otra aproximación para detectar el efecto de pastoreo son los estudios fisiológicos, considerando la reserva de carbohidratos (Donart y Cook, 1970; Miller y Donart, 1979), estas metodologías requieren de la conservación de muestras y análisis de laboratorio. Por otra parte, la simulación de pastoreo puede referirse a los niveles de utilización determinados por la fracción de forraje cortado de la planta y por la frecuencia o número de veces que ese corte se realiza; además se debe considerar efectuar los trabajos *in situ* para asemejar el proceso real. Por lo anterior se optó por una aproximación de enfoque estructural.

Las poblaciones de *Muhlenbergia porteri* Scribn. ex Beal. son de gran importancia dado que toleran altas temperaturas y sequía, también muestran un grado de asociación mayor que otras plantas con la gobernadora (*Larrea tridentata* (DC) Coville). Estos son atributos muy deseables para la conservación y manejo de especies susceptibles al pastoreo, se requiere entonces, conocer los efectos de corte, pastoreo simulado, en las diferentes etapas fenológicas. El objetivo de este experimento fue determinar el impacto de corte en las etapas de crecimiento inicial, embuche y floración, realizados en 1978 y subsecuentemente en 1979, a través de mediciones en variables estructurales de *Muhlenbergia porteri*.

## DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

El lugar de estudio se encuentra en el Municipio de Santa Ana, Nuevo Mexico, EE. UU. en Parker Heights, aproximadamente 32 km al Norte de Las Cruces, con una elevación de 1450 m. Las precipitaciones en los años de estudio fueron de 40.58 y 24.56 cm en 1978 y 1979, respectivamente, siendo los rangos de temperatura para los mismos años de 12 a 41°C y 14 y 39°C. La vegetación la clasifican Donart, et al, (1978) como asociación de Gobernadora y *Muhlenbergia* de la región Chihuahuense, donde se encuentra principalmente *Larrea tridentata*, *Muhlenbergia porteri*, *Hilaria mutica*, y escasa *Bouteloua curtipendula*. Los suelos someros con caliche a profundidades de 15 a 30 cm. La descripción del lugar corresponde a un tipo de vegetación de Matorral Inerme o Sub-inerme Parvifolio según Miranda y Hernández (1963), que representa vastas áreas del Norte de México, para fines prácticos de ubicación la parte Central Norte de México es similar al área de estudio.

<sup>1</sup> Datos parciales de la tesis doctoral de la Universidad Estatal, Las Cruces, Nuevo Mexico, EE.UU.

<sup>2</sup> Investigador del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias

<sup>3</sup> Profesor investigador de la Universidad Estatal de Nuevo Mexico, EE.UU.

## METODOLOGIA

Inicialmente se enumeraron las plantas de *Muhlenbergia porteri* que estarían sujetas a los cortes y se etiquetaba según fuera su tratamiento. Por otra parte se colectaron 30 plantas para calcular la relación tamaño-peso y poder simular una utilización de 50%, de acuerdo a 5 clases-tamaño. Cinco clases representaban a cada uno de los tratamientos que se identifican en el Cuadro 1; ahora bien, el efecto de corte fue detectado en 1979 en etapas fenológicas coincidentes. Las 19 variables que se midieron se enlistan en el Cuadro 2, estas se repetían a tres tallos de cada planta. La información se procesó empleando análisis discriminante, el cual elimina variables que ofrecen poca información bajo dos criterios, la minimización del índice de Wilk's lambda y las distancias de Mahalanobis que emplea la mayor distancia entre los grupos mas similares. Ocurren varias iteraciones y se establecen los coeficientes de una función canónica estandarizada cuya dimensionalidad se representa como:

$$X = b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_p x_p \quad (x_1 \dots p)$$

donde:

$x$  = son las mediciones individuales  
 $X$  = función discriminante.

Los grupos preclasificados son cotejados con los grupos que se derivan o se generan en el análisis discriminante y se ofrece un valor relativo en porcentaje, el cual ofrece información en el em palme de poblaciones similares.

Cuadro 1. Grupos identificados por número y tratamiento de corte de *Muhlenbergia porteri*.

Número asignado (clase)	Identificación
1	Plantas que se cortaron en crecimiento inicial en 1978.
2	Plantas que se cortaron en embuche en 1978.
3	Plantas que se cortaron en floración en 1978.
4	Cortes continuos en 1978.

Adicionalmente a las variables consideradas para el análisis discriminante se mide la longitud de la raíz, su exclusión inicial se debe a que la representación estructural de *Muhlenbergia porteri* era referida a su parte aérea.

Cuadro 2. Nombre de variables que se iniciaron en 1978 y 1979 de *Muhlenbergia porteri* en las etapas fenológicas: crecimiento, embuche y floración.

Número de Variable	Nombre de Variable
VAR 01	Altura
VAR 02	Número de entrenudos
VAR 03	Longitud entrenudo 1
VAR 04	Longitud entrenudo 2
VAR 05	Longitud entrenudo 3
VAR 06	Número de ramas
VAR 07	Longitud rama 1
VAR 08	Longitud rama 2
VAR 09	Longitud rama 3
VAR 10	Longitud de ent. rama 1
VAR 11	Longitud de ent. rama 2
VAR 12	Longitud de ent. rama 3
VAR 13	Número ent. de rama 1
VAR 14	Número ent. de rama 2
VAR 15	Número ent. de rama 3
VAR 16	Longitud de hoja superior
VAR 17	Longitud de hoja intermedia
VAR 18	Longitud de hoja inferior
VAR 19	Porcentaje de tallos muertos

## RESULTADOS

El impacto del pastoreo simulado por cortes a las plantas de *Muhlenbergia porteri* se pudo analizar con datos obtenidos en 1979. Se utilizó el análisis discriminante para los grupos tratados en 1978 en las etapas fenológicas de crecimiento inicial (C), embuche (E) y floración (F). En la etapa de crecimiento inicial en 1979 se detecta que la variable altura proporciona la mayor información para separar los grupos, o sea, es la variable mas discriminante. Le sigue en importancia el número de entrenudos que se puede considerar concomitante a la primera. Esas dos variables mas la longitud de la raíz se utilizaron para representar (fig. 1) *Muhlenbergia porteri* en las poblaciones sin efecto de corte, tal y como aparecen en 1978. Se observa que hay una disminución de la longitud a la raíz en la etapa de dormancia.

En las mediciones realizadas en las etapas de embuche y floración en 1979, ya no aparece la altura como la variable mas discriminante, sino las estructuras inferiores como la hoja inferior de ramas muestreadas. Eso es congruente con aceptar un efecto de corte al cambiar la altura y haciendo mas similares a las poblaciones; o sea, de similar altura.

Por lo tanto, la representación gráfica en la figura 2, solo indica un efecto parcial de la altura, en el sentido que disminuye la información ofrecida por esa variable en las otras etapas fenológicas.



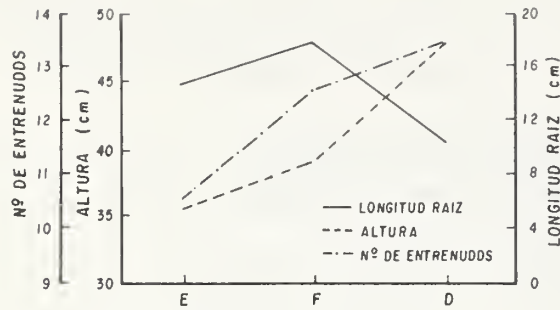


Figura 1. Mediciones de las variables más importantes tomadas en la etapa de embuche (E), floración (F) y dormancia (D) en 1978, en *Muhlenbergia porteri*.

Sin embargo se puede apreciar que el efecto de corte en la etapa de embuche tuvo un detrimento mayor que los cortes realizados en forma continua. Esto se puede explicar por un mecanismo de adaptación al corte realizado en la etapa inicial y sub siguientes, un corte en embuche y floración, etapas que representan estados reproductivos presentan efectos negativos, dado que sus alturas disminuyen.

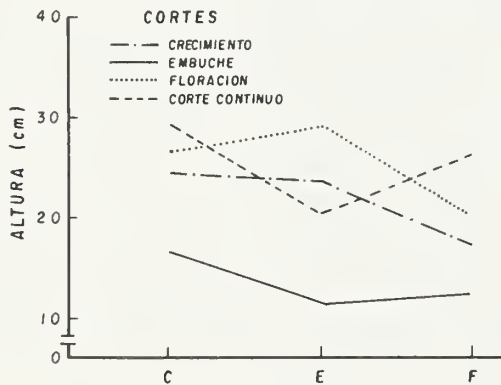


Figura 2. Medias que representan las poblaciones de *Muhlenbergia porteri* en las diferentes etapas vegetativas en 1979 según su altura.

Los resultados del análisis discriminante también proporcionan información de la sobreimpresión de las poblaciones. Las mediciones de 1979 en la etapa fenológica de crecimiento inicial separaron en un 64% a los tres grupos preclasificados, según el tratamiento de corte de 1978, donde la altura resultó la variable más discriminante; sin embargo, las mediciones de la etapa fenológica de floración de 1979 explica en un 80% la preclasificación de los cuatro grupos.

Las etapas fenológicas de crecimiento inicial, embuche y floración pueden ser representadas por poblaciones de *Muhlenbergia porteri* para determinar en forma relativa el efecto de pastoreo simulado. La dificultad de diferenciar las poblaciones y por ende el efecto de tratamiento radica en el conjunto de múltiples variables y estas no conservan consistencia al aparecer con diferente posición o importancia según sea la etapa fenológica en que se representa esa población. La altura no puede ser utilizada como única variable para detectar el efecto de corte. La preclasificación de grupos en caracterización de poblaciones biológicas ha sido mayor en el trabajo de Méndez y Rodríguez (1978) pues encuentran explicación de un 91% para su separación; o sea, poco empalme. Aunque en el caso de estudios de situaciones más complejas para el manejo de recursos naturales, como son las clasificaciones de embalses, los valores son menores (Arredondo, Hernández, Ochoa y Ponce, 1982).

Es posible que a medida que se pueda realizar una mejor caracterización de grupos o poblaciones vegetales, se pueda explicar de mejor manera los cambios de crecimiento y también el efecto de tratamientos.

#### LITERATURA CITADA

- Arredondo, J.L., A. Hernández, R.M. Ochoa, J. Ponce 1982. Aplicaciones de Técnicas de Análisis Multivariado en el estudio de embalses temporales. IMMAS-UNAM Serie Naranja N°. 300 México, 60 pp.
- Dagnalíe, P. 1971. Some ideas on the use of multivariate statistical methods in ecology. In: G.P. Patil, E.C. Pielow, W.E. Waters (Eds.) Statistical ecology. Vol. 3. Many species populations, ecosystems and Systems analysis pp. 167-188. Pennsylvania State University Press, Penn., 462 pp.
- Donart, G.B. y C.W. Cook. 1970. Carbohydrate reserve content of mountain range plants following defoliation and regrowth. J. Range Management 23:15-19.
- Donart, G.B., D. Sylvester y W. Hickey 1978. Potential natural vegetation, New Mexico. USDA-SCS, report 11.
- Goldstein, M. y W.R. Dillon. 1978. Discrete discriminant analysis. John Wiley, N.Y. 186 pp.
- Méndez, I.; S. Rodríguez 1980. Dos ejemplos de análisis discriminante en medicina. IMMAS-UNAM Serie Naranja N°. 179, 42 pp.
- Miller, R.F.; G.B. Donart 1979. Response to *Bouteloua eriopoda* (Toer.) Torr. and *Sporobolus flexuosus* (Thurb) Rydb to season and defoliation. J. Range Management 32: 63-67.
- Miranda, F.; E. Hernández X. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. Bol. Soc. Bot. Mex. 28:29-179.

245

## Converting Forage to Food with Cattle on the Santa Rita Experimental Range<sup>1</sup>

S. Clark Martin<sup>2</sup>

---

Abstract.--Perennial grasses are the most productive forage plants on the Santa Rita but shrubs such as velvet mesquite, and annuals enhance forage quality at times. Moderate stocking and suitable rotation schedules are essential for sustained high yields.

---

On the Santa Rita we use cow-calf herds to convert forage to beef. Cattle are sold around November 1. Sale animals are mainly current year's calves, and cows culled for age or failure to breed. Live weight of animals sold per year ranges approximately from 4 kg/ha on the driest part of the range to 16 kg/ha in the most productive pastures.

The primary unit of production in cattle raising is the forage plant. Just as cattle convert forage to beef, plants convert soil moisture and nutrients to forage. To stay alive forage plants draw water and nutrients from the soil, grow leaves and make their own food. Range beef production is possible only because forage plants can produce more foliage than they require to survive and reproduce. Potential production is set by land and climate. How close we approach gets into the soil and is used by forage plants.

Precipitation on the Santa Rita ranges from 25 cm at 900 m elevation to

50 m at 1300 m. Summer rains (June-Sept.) account for about 60% of the annual precipitation and produce about 90% of the perennial grass forage (Culley 1943). Cool season precipitation (Nov.-Mar.) usually produces a small amount of spring growth on perennial grasses and a crop of cool season forbs 1 or 2 years in 10. Cool season precipitation also replenishes deep moisture that produces new leaves, flowers and fruits on velvet mesquite (Prosopis juliflora var velutina) and other leguminous shrubs in late spring.

Forages on the Santa Rita include annual and perennial grasses, annual and perennial forbs, and shrubs. Perennial forbs contribute little to total production. Yields of annuals are not reliable and they are affected little by grazing practices. Browsing on shrubs is not heavy enough to be detrimental. We manage for perennial grasses because they produce more forage and protect the soil more effectively than the other forage classes do and because they respond predictably to grazing. To achieve sustained high production of perennial grasses requires realistic stocking and appropriate grazing schedules.

Realistic stocking recognizes that frequent drought is to be expected. It strives to meet the needs of cattle, plants, and soil. For optimum production the soil needs an effective cover of plants and litter. Perennial grasses need enough growing time between bites to produce vigorous leaves and make seed. Grasses must also provide enough ungrazed litter to meet the soil's needs for cover. Herbage remaining--after these needs

---

<sup>1</sup>Paper presented at symposium on strategies for classification and management of native vegetation for food production in arid zones (estrategias de clasificacion y manejo de vegetacion silvestre para la produccion de alimentos en zonas aridas). [Tucson, Ariz., October 12-16, 1987].

<sup>2</sup>Dr. S. Clark Martin is Prof. Emeritus of Range Management, Univ. of Ariz., Tucson, Ariz., and Range Scientist (retired), Rocky Mountain Forest & Range Exp. Sta., Tempe, Ariz.



are met--is all we should allocate for grazing. This puts the cow last. She needs forage to meet her seasonal requirements for maintenance, reproduction, and milk flow.

Animal production is one guide to proper stocking. Mature cows on the Santa Rita weigh around 450 kg, calf crops approach 90%, and early spring calves weigh 180-225 kg by Nov. 1. These values are for good quality Hereford cattle on properly stocked range. Lower values over a period of years would indicate that animals don't get enough to eat, i.e., overstocking. Cattle that do not get enough to eat may use almost all of their intake for maintenance. Such heavy stocking obviously wastes animal productivity. Bement (1969) found that the optimum stocking rate for blue-grama (Bouteloua gracilis) range in Colorado lay between the rate that gave maximum gain per animal and the somewhat higher rate that gave maximum gain per hectare. Another author (Riewe 1961) reported highest economic returns on improved pasture by stocking for near-maximum gain per animal. We have not established these parameters for the Santa Rita. It is clear, however, that striving for maximum gain per hectare can result in severe livestock losses and extreme damage to vegetation and soil in years of low forage production.

Cow weights on the Santa Rita change with the amount and quality of forage. The quantity and quality of perennial grass forage is greatest during the summer growing season (Cable and Shumway 1966). Cows then can provide milk for their calves and begin to regain weight they lost earlier in the year. Cows reach peak weight in November or December, lose about 50 kg in calving or soon after, then show minor gains and losses Jan.-June (Ward 1975). Dry grass and browse provide most of the forage Nov.-Jan. Cool-season annuals and spring growth on perennial grasses may add quality to the diet Feb.-Apr.

If all of the grass is gone, cattle can subsist on leaves, flowers and fruits of mesquite with very little grass Apr.-June. However, yearlong grazing that forces cattle to live on shrubs alone in the late spring, will destroy the perennial grasses. Very sparse stands of perennial grasses in open stands of mesquite can be improved over time by rotation grazing. The Santa Rita Grazing System, a 1-herd, 3-pasture, 3-year schedule that rests

each unit 2/3 of the time (Martin 1978) is probably minimal. Research and experience elsewhere indicate that plans using 1 herd and 8 pastures or more can be more effective than rotations with 3-5 pastures (Skovlin 1987, Heitschmidt 1987).

It is difficult to use forage efficiently because production varies unpredictably. Grass production in any given year may be as low as 60 or as high as 160 percent of average (Martin 1975). Another problem is that forage yield cannot be determined until the growing season is over. The grasses then are declining in quality and the period of rapid animal gains for the year is passed.

How can a rancher stay in business in the face of such unpredictable variation? One approach is to adjust animal numbers each fall to the amount of available forage. One problem is that increases or decreases in animal numbers that match forage production changes in magnitude are not feasible. Less drastic adjustments are useful, however. In making stocking adjustments, low production is a more urgent signal to reduce numbers than high production is for an increase. This is because the hazards of neglecting to reduce numbers after a dry summer are more predictable than the benefits of increasing stocking to utilize high production. If extra animals are kept in the fall to use surplus forage they should be removed from the range before the next summer growing season begins because, if the next summer brings drought, the range will be overstocked at a critical time. But, if the extra cattle are sold in May or June profit may be negligible because weight gains from November to June are usually small. It is almost certain that both cattle and range will suffer if numbers are not reduced following a drought summer. The chances of making substantial profit by increasing numbers after a good summer are not nearly so good.

A study of the effect of various stocking strategies on net sales indicated that stocking at a constant level that assumes forage production will be 90% of the long-time average produced net sales almost as high as for flexible stocking and with less risk of severe damage to the range or severe losses in animal production (Martin 1975). Constant stocking, assuming average forage production, is impractical because it results in

overstocking half of the time. Constant stocking at the 90% level results in moderate overstocking about 1 year in 3 but with severe overstocking only 1 year in 15. These degrees of overstocking can be moderated by careful culling in dry years. This is especially important when 2 or more drought summers come together.

#### LITERATURE CITED

- Bement, R.E. 1969. A stocking rate guide for beef production on blue-grama ranges. J. Range Manage. 22:83-86.
- Cable, Dwight R., and R. Phil Shumway. 1966. Crude protein in rumen contents and in forage. J. Range Manage. 19:124-128.
- Culley, Matt. 1943. Grass grows in summer or not at all. Am. Hereford J. 34(9):8,10.
- Heitschmidt, R.K., S.L. Downhower, and J.W. Walker. 1987. Some effects of rotational grazing treatment on quantity and quality of available forage and amount of ground litter. J. Range Manage. 40:318-321.
- Martin, S. Clark. 1975. Stocking strategies and net sales on semidesert range. USDA For. Serv. Res. Pap. RM-146, 10 p. Rocky Mtn. For. & Range Exp. Sta., Fort Collins, Colo.
- Martin, S. Clark. 1978. The Santa Rita Grazing System. In Proc. 1st. Int. Rangeland Cong., Denver, Colo., Aug. 14-18, Donald N. Hyder, Ed.
- Riewe, Marvin E. 1961. Use of relationship of stocking rate to gain of cattle in an experimental design for grazing trials. Agronomy J. 53:309-313.
- Skovlin, Jon. 1987. Southern Africa's experience with intensive short duration grazing. Rangelands 9:162-167.
- Ward, Donald E. 1975. Seasonal weight changes of cattle on semidesert cattle ranges. J. Range Manage. 28:97-99.



245

# Opportunities for Multiple Use Values in the Encinal Oak Woodlands of North America<sup>1</sup>

Peter F. Ffolliott and D. Phillip Guertin<sup>2</sup>

---

**Abstract.**--Multiple use values are described for the encinal oak woodlands of the southwestern United States and northern Mexico. Yields of wood and forage are reported, along with information on wildlife values and other multiple use opportunities. Research needs to better recognize and manage these multiple use values are outlined.

---

## INTRODUCTION

The natural resources in the oak woodlands of North America have been exploited by people for fuelwood, fence posts, and building materials. Perhaps of equal importance, these woodlands also have multiple use values in range, watershed, and wildlife conservation. As the demands for these natural resources increase, there is increasing recognition of the necessity to implement well conceived management programs on a long-term, sustained yield basis and, importantly, in a multiple use context. The purpose of this paper is to review the state of knowledge and experience in the management of natural resources in the oak woodlands of North America.

## EXTENT, DISTRIBUTION, AND CHARACTERISTICS

Descriptions of the climate, physiography, plant and animal resources, and past and present land management practices in the oak woodlands are presented below. Much of the information for these descriptive summaries was obtained from Brown (1982) who, in turn, reviewed and summarized nearly 1,000 references on the biotic communities of the southwestern United States and northern Mexico.

Dominant trees in these mild winter-relatively wet summer woodlands are evergreen oaks (*Quercus* spp.), and junipers and pinyons in varied proportions. The woodlands are composed wholly or partially of oaks at lower elevations, and of mixed oak-pine woodlands at higher elevations. Discussion in this paper is centered on the oak woodlands, also termed encinal oak woodlands, from the Spanish designation to describe evergreen woodlands that are wholly or partially of oaks.

The encinal oak woodlands are concentrated in the Sierra Madre Occidental of Mexico, from where they reach northward into southeastern Arizona, southwestern New Mexico, and Texas. In aggregate, the encinal oak woodlands cover approximately 80,500 square kilometers, although a precise delineation of this biotic community is difficult, as inconsistent criteria for classification have been employed.

### Climate

Annual precipitation exceeds 400 millimeters, of which 200 millimeters fall during the growing season of May through August. Extremes in annual precipitation range from 330 to over 1,000 millimeters. Freezing temperatures are rare in the southern portions of the woodlands, but they increase to an average of almost 125 days at the northern limits.

### Physiography

The encinal oak woodlands are found in the foothills, bajadas, barrancas, and sierras of the Sierra Madre Occidental and its outlying mountain ranges, and in the lower elevations of the mountain ranges in southeastern Arizona and extreme southwestern New Mexico. In elevation, the woodlands occur between 1,200 and 2,200 meters.

---

<sup>1</sup>Paper presented at the USA-Mexico Symposium on Strategies for Classification and Management of Native Vegetation for Food Production in Arid Zones, Tucson, Arizona, October 12-16, 1987.

<sup>2</sup>Peter F. Ffolliott is Professor and D. Phillip Guertin is Assistant Research Scientist, School of Renewable Natural Resources, College of Agriculture, University of Arizona, Tucson, Arizona.

Woodland stands commonly are located along drainages, on rocky slopes, and on other thin-soiled habitats. Distinct patches of encinal woodland species often are surrounded by subtropical deciduous forests, a mosaic pattern that is attributed to variations in soil type (Goldberg 1982).

#### Plant Resources

A large variety of oaks are found in the encinal oak woodlands of the Sierra Madre Occidental. Chihuahua oak (Q. chihuahuensis) is commonly the first oak encountered at the lowest elevations. To the north, Mexican blue oak (Q. oblongifolia) is found at the lowest elevations. Other evergreen oaks are Emory (Q. emoryi), Q. albocincta, and Arizona white (Q. arizonica). In addition, deciduous oaks, including Q. chuchiuchupensis and Santa Clara (Q. santaclarensis), are found in intermixture.

Among the oaks in the mountainous regions of southeastern Arizona, southwestern New Mexico, and Texas are Emory, Arizona white, Mexican blue, and gray (Q. grisea). Silverleaf oak (Q. hypoleucoides) and netleaf oak (Q. rugosa) are found at the intermediate elevations.

Grass and grass-like, forb and half-shrub, and shrub species grow beneath the overstories of the encinal oak woodlands (Eyre 1980). However, while many herbaceous species increase with grazing by domestic livestock, the usual result of over-grazed encinals is the destruction of ground cover.

#### Animal Resources

The encinal oak woodlands are a principal habitat for the white-tailed deer (Odocoileus virginianus) and the Mexican grizzly bear (Ursus arctos). A variety of other mammals, both game and non-game, also are well represented. An assortment of non-game birds make the woodlands attractive to naturalists.

Cattle, goats, sheep, and horses graze on many rangelands in the woodlands on both a seasonal and yearlong basis.

#### Past and Present Land Management

The history of the encinal oak woodlands parallels that of the adjacent pinyon-juniper woodlands. However, in many locales, settlement in the encinal woodland occurred several years after the time of settlement in the pinyon-juniper woodlands. The more mountainous topography of the encinal oak woodlands, relative to the pinyon-juniper woodlands, was partially responsible for this delay.

People utilized, and continue to use, the encinal oak woodlands for fuelwood, fence posts,

miscellaneous building purposes, and to produce food stuffs. Demands for these limited resources have been increasing in recent years.

Although livestock production is important in many areas, the woodlands have not been subjected to large-scale range improvement programs. Water yield improvements through vegetative management are rarely practiced. For both land management purposes, the returns do not justify the required expenditures.

Relatively little attention has been directed toward intensive land and resource management in the encinal oak woodlands. Again, the long rotation period that characterizes the trees and shrubs in these woodlands is a major reason. With increasing demands for fuelwood, as well as for other woodland-based resources, systematic management plans are now being formulated by several land management agencies.

#### PRODUCTION

In the following paragraphs, the encinal oak woodlands are summarized in terms of stand, stocking, and growth characteristics. Additionally, general management considerations are outlined for silvo-pastoral production systems, a common land management strategy in the encinal oak woodlands. The importance of wildlife resources also is reviewed.

#### Stand, Stocking, and Growth Characteristics

Source information to describe the stand, stocking, and growth characteristics of the encinal oak woodlands is limited. However, based on limited, unpublished woodland inventories in southeastern Arizona, tree densities range from only a few, scattered trees to over 150 per hectare (Ffolliott 1985). Volumes are 2 to nearly 65 cubic meters per hectare. On an area basis, total volume is estimated to be 620 million cubic meters. Relatively small, often multiple-stemmed, irregularly formed trees typically are found in the woodlands.

Trees and shrubs grow slowly, rarely exceeding 0.25 cubic meter per hectare, which is equivalent to an annual growth rate of less than 1 percent. Growth is relatively fast throughout the early and into the middle stages of development. However, as the trees become older, natural mortality increases to the point where net growth is negligible.

#### Silvo-Pastoral Management

Of particular importance in the encinal oak woodlands is silvo-pastoral management, or more simply, range management that is practiced in ecosystems that support woody plants. That range management is inseparable from forestry on large areas of woodlands cannot be denied. It is



important that conflicts in land use between the wood production and the production of domestic livestock, if they occur, be resolved to "optimize" the production of both.

The principal species of domestic livestock raised are cattle, sheep, goats, and horses. The composition of the livestock herds in the southwestern United States differs markedly from that in northern Mexico, however. A predominance of cattle is found in the former, while a high proportion of sheep and goats, in addition to cattle, graze in the latter (Downing and Ffolliott 1983). These differences are attributed to economic and socio-cultural orientations of the two countries.

The forage resources in the encinal oak woodlands are valuable to the domestic livestock that graze these rangelands. Important nutrient constituents are satisfied through the consumption of native and introduced grasses, grass-like plants, forbs, and shrubs.

#### Wildlife Resources

Wildlife resources in the encinal oak woodlands have value for both consumptive and non-consumptive purposes. In terms of consumptive use, management activities are centered on native big game species and, to a lesser extent, on small mammals that are hunted. Therefore, wildlife management agencies structure their managerial strategies and action plans to obtain the optimum level of big game production, consistent with other, associated natural resource values.

Wildlife populations are difficult to quantify. Nevertheless, with defecation rates as the basis, population densities for big game and small mammals can be estimated in the region. It is estimated that deer populations range from 0.5 to 1.5 adults per 100 hectares, while elk populations are less than 1 adult per 100 hectares (Ffolliott 1985). Rabbit populations vary from 2 to 3 adults per 100 hectares. It is important to note that wildlife population densities are variable, with the estimates largely dependent upon the juxtapositions of habitats, weather patterns over the period of record, and inherent "productivity" of the populations.

Big game and small mammals furnish hunting opportunities. The hunting success, a measure of the portion of a population that is "taken" during the regulated hunting season, for big game ranges between 15 and 25 percent. For small mammals, the hunting success is more difficult to quantify, as the records are not complete.

#### CONSERVATION

Good conservation, also termed wise use, of the natural resources in the encinal oak woodlands is an underlying goal of the land

management agencies in the southwestern United States and northern Mexico. The managerial tactics undertaken by these agencies to achieve this goal for the basic resources of vegetation, soil, water, and wildlife are described below.

#### Forest Resources

When properly adhered to, the conservation of forest resources in the encinal oak woodlands is based on a principle of long-term, sustained yield management. In the past, this was not always the case, however, as the forest resources were commonly "mined" to provide a variety of wood products; or, the forest resources were removed to increase the production of other natural resources, such as forage, livestock, or wildlife. Currently, management is striving to attain a balance in the growth and yield of the forest resources and, simultaneously, to maintain an ecological balance and improve the livelihood of people in the region.

A principle of multiple use of the forest resources also is stressed. Out of necessity, multiple use in the woodlands is structured in a different time frame than is found in the higher elevation, commercial montane forests. The rates of development for the natural resources in arid environments is inherently low; this means that returns from the consumptive use of the resources in a particular locale are realized after relatively long time intervals (Ffolliott 1985). Therefore, long-term "investments" are required to ensure the continuance of a proper conservation theme.

Prerequisite to the conservation of forest resources is knowledge of the character of these resources. Consequently, the United States and Mexico conduct basic inventories of their forest resources on a country-wide scale. From these inventories, baseline information is obtained on growth and yield, natural mortality, and stocking conditions of the forest resources. This baseline information, in turn, provides input to the formulation of policies and the selection of managerial tactics that are suited to the forest resources in the encinal oak woodlands.

#### Forage Resources and Livestock Production

Forage for livestock production has increased on many woodland sites, once the tree and shrub overstory has been removed. For example, rangelands that produced forage levels of 350 to 500 kilograms per hectare before the removal of the trees and shrubs can yield forage increases of 50 to 100 kilograms per hectare following their conversion to grassland (Ffolliott 1985). However, the question of whether the sacrifice in wood resources warrants the conversion can be answered only through an assessment of comparative values for these natural resources. It generally has been found that some combination of forage and wood will "optimize" the joint production function.

Other range rehabilitation methods carried out include broadcast seeding, fertilizer application, and the construction of fences and stock tanks to ensure more uniform distributions of the domestic livestock.

Some rangelands also can be improved through modifications of the grazing systems in use. Deferred, rotation, or other systems of grazing can increase the carrying capacity of many ranges without seriously impacting the production of wood.

All factors considered, one of the better uses of the encinal oak woodlands is to provide forage to the domestic livestock that graze these areas. Situated between the lower desert and the higher elevation, commercial montane forests, these ranges can hold the key to balancing domestic livestock numbers and forage resources in the region (Springfield 1976). However, the possibilities for improving these ranges within the framework of achieving multiple benefits from the land have not been fully explored.

#### Soil Conservation

With the exception of "historical" precipitation events in terms of excessive, intense rainfall, soil erosion is not a serious problem in the encinal oak woodlands of North America (Ffolliott 1985). When these precipitation events do take place, however, soil erosion is common, and it can occur in magnitudes that result in wide-spread damage. Much of this damage is confined to downstream urbanized areas in which development has occurred on flood plains without proper consideration of the consequences of erosion caused by water.

Little quantitative information exists to describe the rates of soil erosion in the encinal oak woodlands. However, based on observational records, the amounts of annual soil erosion are similar to or less than the amounts that have been reported for the pinyon-juniper woodlands (Ffolliott 1985). In these latter woodlands, annual erosion can vary from a trace to 2,500 kilograms per hectare (Clary et al. 1974, Ffolliott and Thorud 1975). The higher amounts are associated with large storms with estimated return intervals of 50 to 100 years.

Accelerated soil erosion often is associated with wildfires and subsequent rainfalls of high intensity. Wildfires tend to be comparatively hot, which results in more complete combustion of the protective litter cover. To illustrate the order of magnitude, soil erosion after a wildfire can be 25 times greater than that observed before the wildlife (Ffolliott and Thorud 1975, Hibbert et al. 1974), although the impact diminishes quickly.

Various managerial guidelines are followed for the prevention and control of soil erosion.

Whenever possible, roads are not constructed in or near stream channels, or on steep slopes. Once temporary roads are closed, they generally are revegetated with perennial grasses and forbs to minimize overland erosion in the future. The harvesting of wood products often is curtailed in the dry periods of the year; once the soils become saturated with rainfall, wood harvesting may be stopped to minimize environmental degradation. Grazing by domestic livestock, which can affect the infiltration of water into the soil mantle and overland erosion rates, may have to be eliminated on fragile sites.

#### Watershed Management

The encinal oak woodlands are not often thought of as watershed lands. However, the water relationships in these woodlands are, perhaps, more important than those of more temperate environments. Water is always in critical balance in arid ecosystems, and this balance frequently is upset by the actions of people.

Activities that are associated with watershed management programs generally can be grouped into one of three categories: activities which minimize adverse impacts to the soil and water resources, management activities that are designed to increase water yields, and restoration or rehabilitation activities that are needed to bring a watershed from a "poor, mismanaged condition" into a productive state. Of these categories, activities that minimize adverse impacts to the soil and water resources are commonly implemented watershed management programs in the encinal oak woodlands (Ffolliott 1985).

Due to the fragile character of the soil and water resources, extreme care must be exercised to protect these resources. To ensure the protection of these necessary resources, various preventative and control measures are incorporated into watershed management programs. Many of the managerial activities that minimize adverse impacts to the soil and water resources are similar to those employed to prevent and control soil erosion.

#### Wildlife Resources

To ensure multiple benefits on these fragile environments, the management agencies responsible for forestry and wildlife resources in the encinal oak woodlands attempt to coordinate and, whenever possible, complement their respective programs. It is beyond the scope of this paper to review these wildlife management techniques, as implemented in the woodlands. However, to provide a framework upon which wildlife management is practiced, the following guidelines have been offered (Ffolliott 1981, Reyes Rodriguez 1983):



1. Maintenance or enhancement of the standard of living for the steadily increasing human population in the arid zones of North America requires the maximum production of food, fiber, minerals, etc. The management of wildlife resources must be, and to a large extent is, oriented toward this need.

2. Maximum yields of wildlife resources are dependent upon well-conceived, multiple resource land management programs. Therefore, land management practices that are conducive to the maximum production of wildlife resources should be, and largely are, integrated with forestry, other natural resources, and agricultural programs.

3. Optimal populations of wildlife species depend, in large part, upon the maintenance of "favorable" environmental conditions and a balance between these populations and their environment. Achieving this balance is a recognized goal of the land management agencies involved.

4. Harvesting and utilization of wildlife resources are determined by the relative species abundance and reproductive capacity in relation to existing habitats. Therefore, emphasis is placed on real or potential values, rather than on artificial values derived from custom or prejudice.

5. Wildlife management employs a variety of techniques to maintain, or otherwise modify, existing harvesting and utilization practices. Since no single method is adequate, all techniques of management are used to the degree warranted by their proven value and utility. These practices include environmental control, regulation of harvest, artificial propagation and stocking, and predator control.

6. All wildlife management practices should be based upon the findings of adequate biological research, modified, if necessary, to reflect local conditions.

#### PROCESSING AND UTILIZATION OF FOREST RESOURCES

Processing and utilization of forest resources in the encinal oak woodlands has been restricted largely to use for fuelwood and fence posts. Other wood products that can be made from smaller, irregular stems and capitalize on unique physical characteristics (such as fragrance and color) offer additional processing and utilitarian opportunities.

##### Fuelwood

The trees and shrubs in the encinal oak woodlands have been utilized longer and more intensively for fuelwood than for any other wood product. In many rural localities, wood is still a principal fuel used. Heat content, ignition,

and burning characteristics are among the more important fuel characteristics (Reineke 1960). Judged by these criteria, the tree and shrub species in the encinal oak woodlands make excellent fuelwood.

The volume of fuelwood that is harvested is difficult to estimate. However, a recently concluded study in Arizona provides some insight to the volume of fuelwood that is harvested. It has been estimated that, in Arizona alone, approximately 170,000 cubic meters of fuelwood are harvested annually (Ffolliott et al. 1979). Most of this harvest is obtained from the woodlands in and around the larger metropolitan areas.

Fuelwood commonly is harvested and marketed haphazardly in the arid regions of North America, with many small, independent operators working on an occasional or intermittent basis (Barger and Ffolliott 1972). Quality of the fuelwood product, and quantity sold on a stacked basis, often are questionable. The few commercial outlets have considerable difficulty in locating dependable sources of supply and in obtaining a fuelwood product of reasonably consistent quality.

##### Fence Posts

Some of the tree species in the encinal oak woodlands have been utilized for fence posts because of their outstanding durability. Large numbers of fence posts were cut, for local use and as commercial enterprises, during the period of settlement in the southwestern United States and northern Mexico. However, increased use of steel and preservative-treated wooden posts has severely reduced the demand for these posts.

The annual cut of tree species in the pinyon-juniper and encinal oak woodlands for fence posts in a five-state area of the southwestern United States (Arizona, Utah, Nevada, Colorado, and New Mexico) has been estimated to be nearly 300,000 posts during the late 1960's and early 1970's (Barger and Ffolliott 1972).

##### Charcoal

Charcoal manufacture through carbonization is an example of chemical alteration to obtain a wood product. Many of the tree species in the encinal oak woodlands are suited to the production of charcoal, although the market is not well defined.

##### Extraneous Chemicals

Extraneous chemicals, which include resins, oils, and tannins, occur in the wood of most tree and shrub species. These extractives account for the specific characteristics that distinguish one

wood from another and, in large part, help determine potential uses of the wood. Many of the tree and shrub species in the encinal oak woodlands contain appreciable quantities of extractives which could be processed into usable items.

#### Sawn Products

The tree species of the arid zones in North America have not been widely utilized for sawn products, due to their relatively small size and poor form. Railroad ties and mine timbers occasionally are cut, on a limited scale.

#### Potentials for Other Wood Products

Opportunities for expanding the processing and utilization of the trees and shrubs in the encinal oak woodlands depend, in large part, upon the physical and chemical properties of the woods. Work is continuing to learn more of these properties, as well as their inherent variabilities (Barger and Ffolliott 1972, Herrera Bailon 1981).

#### GAPS IN KNOWLEDGE

This review of the encinal oak woodlands of North America has uncovered important gaps in knowledge, including:

1. Biological - increasing tree and shrub growth rates, establishing rotation periods, etc.
2. Socio-economic - identifying the supplies and demands for wood and other multiple use products, characterizing marketing potentials, etc.
3. Administrative - specifying wood harvesting techniques, restricting land open to wood harvesting, etc.

Attention is directed toward the biological and socio-economic gaps in knowledge. The land management agencies whose jurisdiction includes the lands on which the encinal oak woodlands are found are responsible for establishing the necessary administrative framework.

#### Biological Considerations

In the past, the wood resources in the encinal oak woodlands of North America have been "more mined than managed," meaning that wood products have been removed from a site without concern for "renewing" the wood resource for future use. However, as demands increase and markets expand, the wood resources of the region must be managed in accordance with coordinated, multiple use forest management plans. To help achieve this goal, the following gaps in knowledge should be filled.

The annual growth rates of the trees and shrubs in the woodlands are low, in comparison to those found in the higher elevation, commercial montane forests. However, inventory data are incomplete to adequately describe these growth rates and subsequent yields over the range of sites which can be considered for forestry practices. This information is critical to formulating the silvicultural treatments that can increase growth rates for long-term, sustained yield forest management.

In the development of "sustained yield" forest management schemes, information is necessary to establish rotation periods over which the trees and shrubs are grown to "optimize" benefits. A time interval between harvesting operations must be programmed to improve the potentials to recover wood resources for consumptive use. Source data to quantify these parameters are only partially available and for only a few, selected areas.

It must be assumed that the wood resources in the encinal oak woodlands will be "more managed than mined" in the future. Therefore, it will become necessary to ensure that sufficient regeneration is attained to provide a continual flow of wood on a "sustained yield" basis. Again, the information that is required to make an assessment of regenerative potentials is incomplete.

It is known that the tree and shrub species in the woodlands are not easily regenerated naturally, and that effective artificial measures may be too costly. Therefore, it has been suggested that long-term, sustained yield forest management only be practiced on those sites that are favorable to the establishment of natural regeneration (Ffolliott et al. 1979). It is possible, however, that these latter areas may be valuable for other natural resource products or amenities. Background information, once again, is required to answer this question.

#### Socio-Economic Considerations

Some of the socio-economic considerations that became evident in this review are discussed below.

In response to the increasing demands for wood products from the encinal oak woodlands, investigations have been conducted to determine the levels of supplies, both present and future, of woody biomass (Bahre and Hutchinson 1984, Ffolliott et al. 1980, Frank 1982, Schnorr et al. 1982, Tolisano 1984). One conclusion of these studies has been that, while supplies of wood are apparently available in many biotic communities, demands for wood products from these communities will continue to increase and, in the future, may approach the anticipated supplies.

In terms of fuelwood, available supplies, represented by annual accretions of woody



resources, are anticipated to increase in a largely constant trend to 1995. The demands for fuelwood also are expected to continuously increase to 1995. Extending these supply and demand trends beyond 1995 suggest that fuelwood demands may exceed the available supplies toward the middle of the next century.

Many rural people in the southwestern United States and northern Mexico have a "strong" tradition in agriculture and livestock production. Unfortunately, this tradition is not always matched by an appreciation of wood production. This lack of appreciation can be a barrier to the implementation of forestry practices that, in many instances, compete for agricultural and grazing land. However, it is possible that this barrier can be removed through improved extension services and better technology transfer mechanisms to educate the people on the beneficial role of trees and shrubs.

#### LITERATURE CITED

- Bahre, C. J., and C. F. Hutchinson. 1984. Impact of historical fuelwood cutting on the semidesert woodlands of southeastern Arizona. Office of Arid Lands Studies, University of Arizona, Tucson, 58 p.
- Barger, R. L., and P. F. Ffolliott. 1972. Physical characteristics and utilization of major woodland tree species in Arizona. USDA Forest Service Research Paper RM-83, 80 p. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Fort Collins, Colorado.
- Brown, D. E. 1982. Biotic communities of the American Southwest -- United States and Mexico. *Desert Plants* 4:1-342.
- Clary, W. P., M. B. Baker, Jr., P. F. O'Connell, T. N. Johnsen, Jr., and R. E. Campbell. 1974. Effects of pinyon-juniper removal on natural resource products and uses in Arizona. USDA Forest Service Research Paper RM-128, 28 p. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Fort Collins, Colorado.
- Downing, T. E., and P. F. Ffolliott. 1983. The social dimensions of rangeland management. p. 19-23. In: Patton, D. R., J. M. de la Puente, P. F. Ffolliott, S. Gallina, and E. T. Bartlett. Wildlife and range research needs in northern Mexico and southwestern United States. USDA Forest Service General Technical Report WO-36, 108 p. Washington, D.C.
- Eyre, F. E. 1980. Forest cover types of the United States and Canada. Society of American Foresters, Washington, D.C., 148 p.
- Ffolliott, P. F. 1981. Integration of wildlife and other natural resources policies. p. 24-28. In: Ffolliott, P. F., and G. Halffter. Social and environmental consequences of natural resources policies. USDA Forest Service General Technical Report RM-88, 57 p. Fort Collins, Colorado.
- Ffolliott, P. F. 1985. Arid zone forestry program: State of knowledge and experience in North America. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 154 p.
- Ffolliott, P. F., and D. B. Thorud. 1975. Water yield improvement by vegetation manipulation: Focus on Arizona. National Technical Information Service, PB 246 055, Washington, D.C., 1,094 p.
- Ffolliott, P. F., W. O. Rasmussen, and J. G. Patterson. 1980. Biomass for energy: Potentials in Arizona. *Biosources Digest* 2:240-247.
- Ffolliott, P. F., W. O. Rasmussen, T. K. Warfield, and D. S. Borland. 1979. Supply, demand, and economics of fuelwood markets in selected population centers of Arizona. *Arizona Land Marks* 9:1-74.
- Frank, H. J. 1982. Arizona's energy future. University of Arizona Press, Tucson, 149 p.
- Goldberg, D. E. 1982. The distribution of evergreen and deciduous trees relative to soil types: An example from the Sierra Madre, Mexico, and a general model. *Ecology* 63:942-951.
- Herrera Bailon, A. 1981. Avance en la determinacion de las características de maquinado de cinco especies de encino que vegetan en Mexico. *Ciencia Forestal* 6:45, 64.
- Hibbert, A. R., E. A. David, and D. G. Scholl. 1974. Chaparral conversion potential in Arizona. Part I: Water yield response and effects on other resources. USDA Forest Service Research Paper RM-126, 36 p. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Fort Collins, Colorado.
- Reineke, L. H. 1960. Wood fuel combustion practice. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, Report 1,666-18, 9 p. Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin.
- Reyes Rodriguez, J. J. A. 1983. Moderator's comments: Current research strategies for range and wildlife management. p. 66. In: Patton, D. R., J. M. de la Puente, P. F. Ffolliott, S. Gallina, and E. T. Bartlett. Wildlife and range research needs in northern Mexico and southwestern United States. USDA Forest Service General Technical Report WO-36, 108 p. Washington, D.C.

Schnorr, J. K., R. Larson, J. Morgan, and J. Lingerfelt. 1982. Biomass feasibility study for the state of Arizona. Arizona Cooperation Commission, Phoenix, 252 p.

Springfield, H. W. 1976. Characteristics and management of southwestern pinyon-juniper ranges: The status of our knowledge. USDA

Forest Service Research Paper RM-160, 32 p. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Fort Collins, Colorado.

Tolisano, J. A. 1984. Contributions of woody biomass to energy requirements in Arizona. Master's Thesis, University of Arizona, Tucson, 62 p.



245

# Strategies for Enhanced Production of Beef and Jojoba on Northern Baja California Rangelands<sup>1</sup>

Alvin L. Medina<sup>2</sup> and Jorge Sepulveda Betancourt<sup>3</sup>

---

**Abstract.**--An economic assessment of grazed vs nongrazed jojoba stands revealed cattle grazing significantly reduced jojoba seed than grazed areas. Vegetation removal and water catchment treatments enhanced seed production by 2 to 2.7 times over nontreated grazed areas. Total exclusion of cattle resulted in a loss of forage and beef production. Strategies for grazing stands of jojoba, based on height and canopy attributes, are proposed for the enhancement of beef, jojoba, and other rangeland resources.

---

## INTRODUCTION

Jojoba is an economically important desert plant found throughout the Sonoran Desert and the Baja California peninsula. Seeds of wild and cultivated plants are harvested and processed into various commercial products such as lubricants, pharmaceuticals, and cosmetics. The seed meal by-product is used as food for livestock.

Jojoba is also a nutritious forage plant for wildlife and livestock (Dayton 1931, Gentry 1958, Urness and McCulloch 1973). The leaves provide a staple diet for deer during the fall and winter when other foods are least available, probably due to its high protein and moisture content. It can withstand heavy utilization for extended time before declining in numbers (Judd 1962).

In Mexico, jojoba is a vital economic resource of rural communities. Because of this importance, the Mexican government in 1976 initiated a comprehensive program of research, management, and protection of the species. Approximately 8000 ha were excluded from grazing

(Araujo M. et al. 1981). Stand improvement measures, such as removal of competitive plants and water catchment developments, have been applied to some excluded areas. The effectiveness of such treatments with respect to increased production of jojoba seed and reduced livestock production has not previously been evaluated.

The objectives of this study were to (1) evaluate the economic benefits and losses from treatments of livestock exclusion, vegetation removal, and water microcatchment developments, (2) examine plant attributes of height and canopy cover associated with high seed production that could be used as guidelines for setting grazing levels, and (3) develop alternative strategies for multiple use of excluded areas.

## STUDY AREA

The study area is a 550 ha enclosure located in the Valley of Ojos Negros, about 40 km east of Ensenada in Baja California, Mexico. It is part of a series of intermountain valleys of the Sierra de Juarez mountain range and has been described in detail by Sepulveda (1987). At an elevation of 850 m., the climate is mediterranean with characteristic winter rains and dry summers. Annual rainfall averages 240 mm, with a temperature range between 10°C in January to near 25°C in July.

The mixed-shrub community is characterized by *Simmondsia chinensis* as the dominant shrub species, with *Eriogonum fasciculatum*, *Ephedra californica*, *Rhus integrifolia*, *Yucca shidigera*, and *Ambrosia confertifolia* as other common species.

---

<sup>1</sup>Paper presented at the Symposium on Strategies for Classification and Management of Native Vegetation for Food Production in Arid Zones. [Tucson, Arizona, October 12-16, 1987].

<sup>2</sup>Personal research, Range Scientist, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Research Work Unit at Tempe. Station headquarters at Fort Collins, Colorado.

<sup>3</sup>Biólogo, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, Ensenada, Baja California, México.

Annual species such as Vulpia octoflora, Bromus rubens, and Erodium cicutarium account for nearly all of the herbaceous forage produced. Perennial grasses are uncommon, but Stipa comata, Stipa lepida and Melica imperfecta are found in protected areas.

The soils are classified as Xeropsamments of granitic origin. The upper horizon is subject to wind erosion, given its loose-friable nature. The exposure is westerly with a slope gradient of about 2°. Sandstone rock outcrops dot the landscape.

The enclosure was established in 1976 in one of the best stands of jojoba for the purpose of excluding cattle and for experimentation with jojoba stand improvement treatments. Prior to exclusion, the site was grazed by cattle during the period from October through May, after which the cattle were moved to pastures at higher elevations. Jojoba seed is harvested during late June and July.

#### METHODS

Four field treatments, hereafter referred to by numbers, consisted of: (1) grazed, (2) ungrazed, (3) ungrazed with vegetation removal, and (4) ungrazed with vegetation removal and water microcatchments. Treatments were performed on about 4 ha sections within the excluded area, except for the grazed treatment, which encompassed a similar size area adjacent to the enclosure. The grazed treatment consisted of cattle use during the period between October and May at an average stocking rate of 28 ha/A.U. (animal unit)

for the ten years (SARH 1986). Vegetation removal consisted of selectively grubbing out all woody species except jojoba. Small water catchments were plowed on the downslope side of jojoba plants, about 1 m from the plant's center, such that treated plants were encircled on 3 sides by a soil berm about 3-5 dm high. The intent was to collect surface runoff from upslope and retain it for use by the plant.

Treatments were evaluated in terms of jojoba seed production ten years after the enclosure and treatments were performed. Fifty female plants within each treatment were randomly selected. Sample sizes were determined using running mean approach, based on fresh seed weight and tables of sample sizes (Bratcher et al. 1970). An experimental unit was defined as a single female plant. Seed of each plant was collected and sun-dried for 10 days. Wet and dry weights were recorded. Plant density within each treatment was determined by counting all plants on 5 randomly located 1000 m<sup>2</sup> plots. Height, largest and smallest diameter, and canopy cover of each plant were also determined.

One-way analysis of variance tests were performed to determine differences in seed production between treatments. Multiple comparisons of height and canopy attributes, and seed production were performed using Tukey test criterion ( $\alpha = .05$ ). Economic aspects were evaluated through graphic and tabular comparison of costs and benefits of each treatment.

Tabular comparison of economic data are presented in table 1 and computed as follows. For each treatment, the mean seed production

Table 1. Adjusted benefits derived from jojoba seed production of treated areas and investment costs. Investments costs/ha (dollars) were \$44.40 for fencing, \$20.00 for vegetation removal, and \$10.00 for water microcatchments.

Treatment	Mean seed production (kg/plant)	Mean plant density/ha	Mean seed production (kg/ha)	Adjusted benefits (\$/ha)	Total costs (\$/ha)
Grazed	0.023	255	5.86	0	0
Ungrazed	0.050	255	12.75	16.30	44.40
Ungrazed vegetation removal	0.069	255	17.59	25.81	64.40
Ungrazed vegetation removal, water catchment	0.087	255	22.18	35.90	74.40



(kg/plant) was determined. Then, using the mean plant density (255 plants/ha) for the entire stand as a constant multiplier, mean seed production (kg/ha) was determined. A constant value (255 plants/ha) for mean plant density was used in order to account for unequal plant densities that might have been present prior to treatment, and reduced the effect of other factors (grazing, plant competition, incidental loss due to treatment). Hence, hypothetical benefits are projected as if all treatment areas had equal density. Adjusted benefits were determined using treatment 1 (no incurred costs) as the base value, from which other treatment benefits are subtracted. This base value is given a monetary value of 2.20/kg of seed, which is a conservative market value, given the current market value of \$1.00 to \$1.35 per pound (Turner 1987). Hence, adjusted benefits reflect the monetary conversion to dollars/ha and are adjusted for \$12.90, since no investment costs were incurred to attain this benefit. Treatment costs are also expressed in dollars/ha in order that an estimate of time required to recoup investment costs may be obtained (years = total costs/adjusted benefits).

Cattle production potential was expressed in terms of total animal units potentially available, given the stocking rate for the study area of 28 ha/A.U./year. Suggested stocking rates for adjacent range sites vary from 18 to 39 ha/A.U./year and average about 28 ha/A.U./year (SARH 1986). Aguirre (1979) reported an average stocking rate of near 35 ha/A.U. and actual use of 20.8 ha/A.U. Realized beef production in dollars is based on the number of calves that could be produced times the region's average market value of \$300 per calf. A hypothetical benefit from calf production was determined by dividing the calf's market value by the stocking rate (28 ha/A.U.), to attain a base value of \$10.70/ha.

## RESULTS

Jojoba seed production (dry weight) per plot was significantly different ( $p < .05$ ) between all treatments (fig. 1). Seed production was lowest on treatment 1. Seed production from treatments 2, 3, and 4 was 120%, 200%, and 275% greater than observed on control treatment 1, respectively. Mean seed production/ha was 5.86 kg ( $\sigma = 0.56$ ), 12.75 kg ( $\sigma = 0.72$ ), 17.59 kg ( $\sigma = 0.70$ ), and 22.18 kg ( $\sigma = 0.69$ ) for treatments 1 through 4, respectively.

No significant differences in mean seed production within treatments between respective height classes were observed, except in grazed treatment 1 where mean production was less for short plants (<1.25 m) than for taller plants (1.75 m) (fig. 1). Also, no differences were observed between medium height plants (1.75 m) and taller plants in treatments 3 and 4. Sample sizes were large enough to permit comparisons between

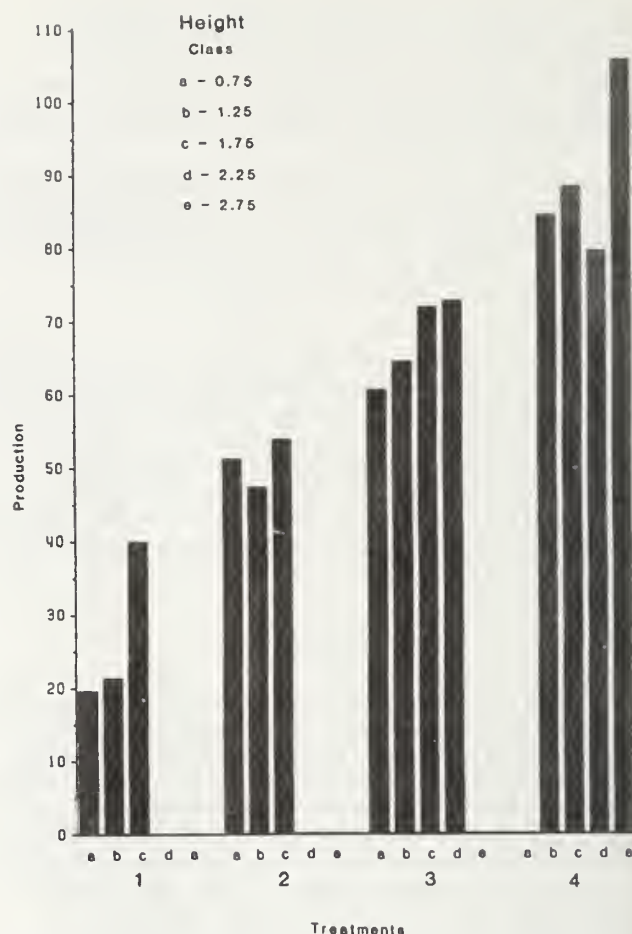


Figure 1.--Comparison of mean seed production (g) among treatments and among height classes of individual treatments. Sample sizes are indicated above respective size classes.

height classes in all cases, except for one instance in treatment 4, height class 2.75. Variances were relatively homogenous as indicated by small standard error of the mean. Significant differences in height of plants were observed between all treatments. Mean plant heights by treatment were 1.18 m ( $\sigma = .04$ ), 1.40 m ( $\sigma = .05$ ), 1.58 m ( $\sigma = .05$ ), and 1.77 m ( $\sigma = .05$ ) for treatments 1 through 4, respectively.

Similar differences were observed in mean seed production within treatments among respective canopy size classes as seen in figure 2. Plants with small canopy area (<2 m<sup>2</sup>) of treatments 1 and 2 produced less seed than larger plants (>2.5 m<sup>2</sup>), whereas, no differences were observed in treatments 3 and 4. Also, no overall significant differences in production were detected between medium size plants (2.5 m<sup>2</sup> to 3 m<sup>2</sup>) and larger plants in treatments 2 through 4. Small sample sizes (<3) were present in size class 2.5 of treatment 1, size classes 3, 3.5, and 4 of

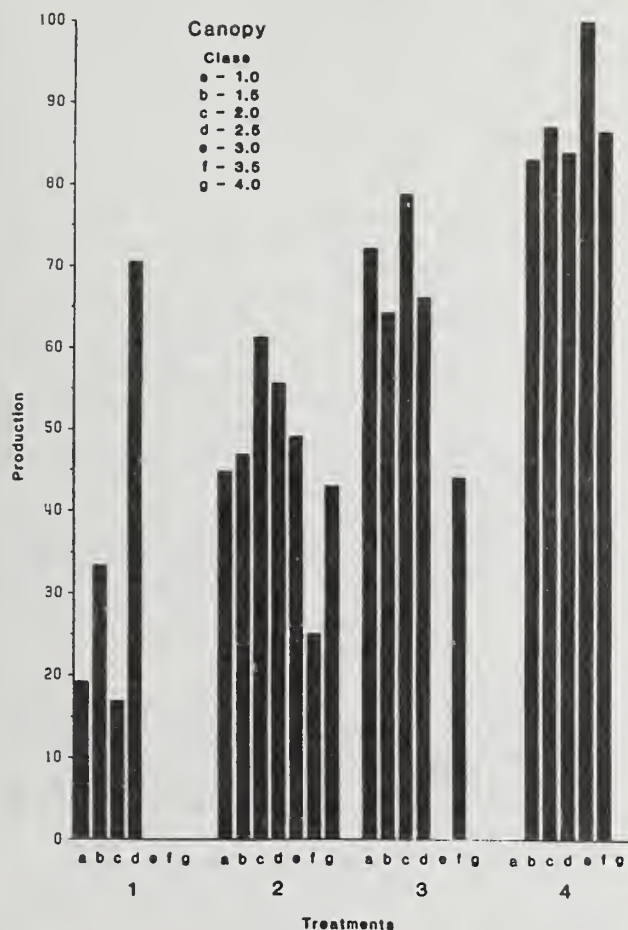


Figure 2.--Comparison of mean seed production (g) among treatments and among canopy size classes of individual treatments. Sample sizes are indicated above respective size classes.

treatment 2, and size class 3.5 of treatment 3, which prohibited comparisons between these size classes and others. However, sample sizes were adequate for all size classes of treatment 4, which proved to have the best overall treatment response.

Significant differences ( $p < .05$ ) in canopy cover were observed between grazed and ungrazed treatments, as well as among ungrazed treatments (2-4). Mean canopy area for treatment 1 was  $1.3 \text{ m}^2$  ( $\sigma = .06$ ) compared to  $1.83 \text{ m}^2$  ( $\sigma = .09$ ),  $1.90 \text{ m}^2$  ( $\sigma = .08$ ), and  $2.52 \text{ m}^2$  ( $\sigma = .08$ ) for treatments 2 through 4, respectively. No differences in mean canopy area were noted between treatment 2 and 3, but treatment 4 showed nearly a 37% increase in mean canopy cover over treatments 2 and 3, and about 100% greater canopy cover than treatment 1.

Mean plant density of treatment 1 (355/ha) was about 60% greater than treatment 2 (222/ha) and 67% greater than either treatments 3 or 4

(213/ha). However, respective plant size characteristics were quite different. Nearly 86% of all plants in treatment 1 were shorter than 1.5 m and 64% of all plants contained less than  $1.25 \text{ m}^2$  of canopy area. In contrast, 80% of all plants in treatment 2 were between 1-2 m tall and 56% of all plants had canopy area between  $1.25$  and  $2.25 \text{ m}^2$ .

Plants from treatment 3 were similar to treatment 4 with respect to height, with about 58-60% of all plants having a mean height of 1.75 m. However, about 58% of the plants from treatment 4 had mean canopy areas between  $1.75 \text{ m}^2$  and  $2.75 \text{ m}^2$ , compared to a similar percentage between  $1.25 \text{ m}^2$  and  $2.75 \text{ m}^2$  in treatment 3. Canopy area differences were more obvious due to a greater percentage of plants occupying larger size classes with respect to treatments 1 through 4.

Other differences were also noted with regard to the form or shape of the plant. Plants from treatment 1 were hedged in appearance, with flattened tops and quadrangular shape. In contrast, plants from ungrazed treatments had globular shapes.

Table 1 shows the hypothetical benefits derived from seed production from respective treatments based on tenth-year results and not on progression of earlier years. Benefits increased with each successive treatment. Treatment 4 showed nearly a 3-fold increase in benefits (dollars/ha) over treatment 1. Addition of the potential benefit from calf production (\$10.70) significantly increases the potential benefits that can be realized from both seed and beef production. The minimum economic benefit derived from beef and seed production would be about \$23.60/ha, based on estimates for treatment 1. This value is about the same as that derived from adjusted benefits of seed production alone from treatment 3. Since no cattle were produced from treatments 2-4, benefits realized are those for seed production only.

## DISCUSSION

Jojoba responds positively to various cultural treatments, including irrigation and pruning (Yermanos 1978). In this study, jojoba responded to the reduction of plant competition, water catchments, and especially rest from livestock grazing. The higher production observed in treatment 4 is most likely due to increased soil moisture from both plant removal and water harvesting.

Despite the increased benefits derived from plant removal and water harvesting, fencing (or rest from grazing) still appeared to be the best overall range improvement. It would be very difficult for small rural communities or small ranching operations to finance the treatments unless the stands of jojoba are capable of producing reasonable quantities (as in the study



area) of jojoba seed. Hence, it is important that a complete inventory of jojoba stands be performed prior to implementation of any improvement. Nonetheless, fencing would still be the most desirable improvement so that better livestock distribution and utilization of forage can be achieved.

The effects of unregulated grazing on seed production were evidenced in figure 1. However, the data also revealed that not all ungrazed plants produced large amounts of seed. No significant differences among grazed height classes were observed, and relationship between canopy size and seed production was irregular. However, it is important to note that no difference in production was noted among medium size plants (1.6-1.8 m tall, 2-2.5 m<sup>2</sup> canopy cover) and larger, taller plants. These observations were more pronounced in treatment 4, where adequate sample sizes for each size class were present. Since treatment 4 had the greatest plant response which resulted in improved range conditions, the plant attributes exhibited therein are those from which management goals can be derived. This means that this medium size class of treatment 4 could be used as an index of the desirable plant size that will yield high seed production. Larger plants could be used as supplemental forage for cattle and sustained high seed production. Cattle could be used as a management tool to attain or maintain the desired plant size, given that cattle grazing would not adversely affect seed production. No detrimental effects from moderate use by cattle of jojoba plants have been reported. Most of the work with jojoba has been in regard to cultivated plants and little with wild populations. Pruning of cultivated plants is a common practice (Yermanos and Gonzales 1976, Yermanos 1978, Scarlet 1978) and is thought to stimulate axillary growth of buds. When the terminal bud of a woody branch is removed or killed, a hormone disruption occurs causing one or more of the lower buds to develop into elongating shoots (Crawley 1983). This response could result in an increased number of stems, which could enhance the probabilities of greater floral buds. Furthermore, browsed shrubs have been shown to increase production of new stems (Ellison 1960), while in others, the growth stimulus required herbivory (Berg and Plumb 1971). Jojoba is believed to respond in similar manner to herbivory.

The economic data provided serve also as an index of valuation of jojoba rangelands. It is presented here to demonstrate potential benefits and losses on similar sites. We do not advocate that unstocked areas be restocked with livestock. Quite contrary, without the use of the excluded area, it would not have been possible to make such assessments. The usefulness of this economic index is to assist range administrators in making better decisions regarding multiple use of such rangelands, at least with respect to treatment 1. The economic assessment also aids in planning for future range improvements. The initial investment for any improvement can easily be recouped within less than ten years.

It is recommended that any system/method of livestock grazing that provides rest from grazing be used as an initial means of enhancing total rangeland productivity. A rest-rotation system might work well in a situation where a range of plant sizes is present, keying in on the size enhancement of the smaller plants. Pastures could be designed so as to encompass plants of similar size classes. Here, pastures with small plants could be rested for longer periods and used less intensely than pastures of very tall plants. In addition to fencing and a livestock grazing scheme, reseeding of impoverished ranges with perennial forage grasses is advocated. Providing additional forage might aid in reducing grazing pressure on jojoba plants, especially during critical periods of reproduction. At present there is a general lack of desirable forage plants available for cattle. The additional forage will also aid in reducing soil erosion and provide food for small wildlife species. It is further recommended that jojoba rangelands be grazed primarily between the period of seed maturation or harvesting and the initiation of the flowering period. It is uncertain whether cattle consume significant amounts of seed, but such use thereof has been reported (Gentry 1958).

The recommended season of use for the study area is during the fall and early winter months. Jojoba responds to winter precipitation, and initiates flower production in late winter-early spring. Seeds mature during August and September (Parra Hake and Sepulveda 1981). In areas of southern Baja California that receive summer precipitation, seeds mature during April and May. Hence, seasons of use vary for different areas, subject to local precipitation patterns. In some areas the season of nonuse may coincide with cattle utilization of summer pastures in the mountains, as was the case here.

Recommended utilization levels are also subject to the particular management objectives for the area. If high yields of seed and overall enhancement of plant size are foremost, then grazing of jojoba plants should probably be light, subject to the structural composition of the stands. A moderate (about 40-50% of current annual growth, USDA Forest Service 1979) utilization rate is about the most that could be allowed in most situations, given good range conditions, and still manage for high seed production. The stocking rate of the grazed treatment was much too high as was evidenced by the stunted growth form of jojoba plants. A light level of about 10% as suggested by Roundy et al. (1985) may be more appropriate given the preliminary results of this study. In some instances, jojoba stands may require extended rest periods.

## CONCLUSIONS

Livestock exclusion in combination with vegetation removal and water harvesting via microcatchments resulted in significant increases in jojoba seed production as well as improved

range conditions, as demonstrated by increased plant size. The economic analysis of potential benefits revealed that greater benefits might be realized under a multiple-use concept of seed production and cattle grazing. However, the most important objective was to provide for the betterment of jojoba plants, which when achieved could result in higher productivity from the land.

Ten years of rest from grazing resulted in about 25% increased growth in height and 41% increased canopy size. Hence, overgrazed pastures should be rested and utilized very lightly in order to enhance range conditions. Range conditions could be improved through better livestock management methods that provide for the betterment of range plants.

The results presented here are based on a preliminary study and are subject to change in light of new information. Additional research is needed to find suitable plant attributes that lend themselves as guides for grazing management as well as for enhanced seed production.

#### LITERATURE CITED

- Aguirre, R.M. 1979. Impacto de la ganaderia sobre los recursos naturales en la cuenca del Golfo de California. p. 75-77. En Memoria III Simposio Binacional Sobre el Medio Ambiente del Golfo de California, Instituto nacional de Investigaciones Forestales, Publicacion Especial No. 14, 223 p.
- Araujo M., E., R. Gonzalez H. and Hector Barraza H. 1981. Informe y experiencias en al trabajo desarrollado en el estado de Baja California (1976-80) con el recurso natural jojoba. Pider Zona 44. p. 89-95. En I Reunion Nacional Sobre Jojoba, Publicacion Especial No. 30, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, 276 p.
- Bratcher, T.L., M.A. Moran, and W.J. Zimmer. 1970. Tables of sample sizes in the analysis of variance. Journal of Quality Technology 2:156-164.
- Berg, A. R. and T. R. Plumb. 1971. Bud activation for regrowth. p. 279-286. In USDA Forest Service GTR INT-1. Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, Utah, 494 p.
- Crawley, M. J. 1983. Herbivory--the dynamics of animal-plant interactions. University of California Press, Berkeley, Calif., 437 p.
- Dayton, E. F. 1931. Range plant handbook. USDA Forest Service, Washington, D.C., 842 p.
- Ellison, L. 1960. Influence of grazing on plant sucession of rangelands. Botanical Review 26:1-8.
- Gentry, H.S. 1958. The natural history of jojoba (*Simmondsia chinensis*) and its cultural aspects. Economic Botany 12:261-295.
- Judd, B. I. 1962. Principal forage plants of southwestern ranges. USDA Forest Service, RM Res. Pap. 69. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Fort Collins, Colo.
- Parra Hake, H. y J. I. Sepulveda B. 1981. Algunos aspectos sobre la jojoba silvestre y su aprovechamiento actual. p. 38-48. En Memoria Primera Reunion Nacional Sobre Ecologia, Manejo y Domesticacion de las Plantas Utiles del Desierto. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Publicacion Especial No. 31, 527 p.
- Roundy, B.A., G.B. Ruyle and J. Ard. 1985. Estimating production and utilization of jojoba. p. 17-23. In Patton, D. R., C. E. Gonzales, A. L. Medina, L. A. Segura, and R. H. Hamre, tech. coords., Management and Utilization of Arid Land Plants: symposium proceedings; 1985 February 18-22; Saltillo, Mexico. General Technical Report RM-135. Fort Collins, Co: USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, 113 p.
- SARH. 1986. Historia de potreros: La Huerta, Ensenada, Baja California, Norte. Comision Tecnico Consultiva para la Determinacion Regional de los Coeficientes de Agostadero.
- Scarlett, P.L. 1978. Jojoba in a nutshell. Jojoba International Corporation. Carpinteria, Calif., 55p.
- Sepulveda B., J. I. 1987. Response of *Simmondsia chinensis* (Link) Schneider to protection, vegetation removal, and water catchment development. M.S. Thesis, Arizona State University, Tempe, 50 p.
- Turner, J. S. 1987. Prices. Jojoba Happenings 15(2):5.
- Urness, P. J. and C. Y. McCulloch. 1973. Nutritional value of seasonal deer diets. p. 53-68. In Deer nutrition in Arizona Chaparral and desert habitats. Arizona Game and Fish Department and USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. Special Report No. 3, 68 p.
- USDA Forest Service. 1979. Allotment analysis handbook. Southwestern region. Region 3. Albuquerque, New Mexico.
- Yermanos, D. M. 1978. Mechanical harvesting of jojoba. p. 67-70. En Cosejo Nacional de Ciencia Y Tecnologia, La Jojoba: Memorias de la II Conferencia Internacional Sobre la Jojoba Y su Aprovechamiento, Ensenada, Baja California Norte, Mexico. Consejo Nacional De Ciencia Y Tecnologia, Comision Nacional de las Zonas Aridas, 340 p.
- Yermanos, D.M. and R. Gonzales. 1976. Mechanical harvesting of jojoba. California Agriculture 30:8-9.



# An Analysis of Runoff and Sediment Yield from Natural Rainfall Plots in the Chihuahuan Desert<sup>1</sup>

Susan B. Bolin and Tim J. Ward<sup>2</sup>

**Abstract.**— Runoff and sediment yields from small natural rainfall plots in the Chihuahuan Desert were analyzed. No significant differences were found for runoff or sediment yield between plots with shrubs and plots without shrubs. It is hypothesized that any differences caused by cover were not detected because of the low energy levels of the natural rain events. These findings imply that management decisions for vegetation manipulation should include information from high energy rainfall events.

## INTRODUCTION

This paper examines 17 rainfall-runoff events from four natural rainfall plots in southern New Mexico. The are nine plots located at the Jornada Long Term Ecological Research (LTER) site north of Las Cruces, New Mexico. Five plots have been treated with chlordane to remove termites and four are located on areas without the chlordane treatment. The plots (2m X 2m) were set up to represent shrub and intershrub areas. The common shrub in the area is creosote (*Larrea tridentata*). The shrubs are approximately centered in the plots. The intershrub plots have no creosote and very little perennial cover.

Similarities and differences between plot responses to rainfall events were investigated, and the findings are related to plot and rainfall differences. Only the plots without the chlordane treatment will be discussed because the intent is to assess rainfall-runoff and sediment yield in a natural setting.

Numerous statistical tests and comparisons were conducted on the data. The SAS package on the New Mexico State University IBM 3081D mainframe was used to summarize and analyze the data. The data were provided from an on-going LTER project at the Jornada (W.G. Whitford, Dept. of Biology, New Mexico State University, unpublished data).

<sup>1</sup>Paper presented at the USA-Mexico symposium on strategies for classification and management of native vegetation for food production in arid zones, [Tucson, Arizona, Oct.12-16, 1987].

<sup>2</sup>Susan B. Bolin is an Engineer I, Dept. of Civil, Agricultural and Geological Engineering (CAGE), New Mexico State University, Las Cruces, N.M. Tim J. Ward is Professor of CAGE, New Mexico State University, Las Cruces, N.M.

## GENERAL SITE DESCRIPTION

The Jornada LTER site (fig. 1) is located in the Chihuahuan Desert on the New Mexico State University College Ranch, 40 km northeast of Las Cruces, New Mexico. Distinct vegetation zones occur as one descends from the mountain shrubland (1501 m) to the grassland playas at the lower elevations (1318 m). The natural rainfall plots are located on a bajada in a creosote shrub zone. Average annual precipitation is 23 cm but Class A pan evaporation is about ten times higher.

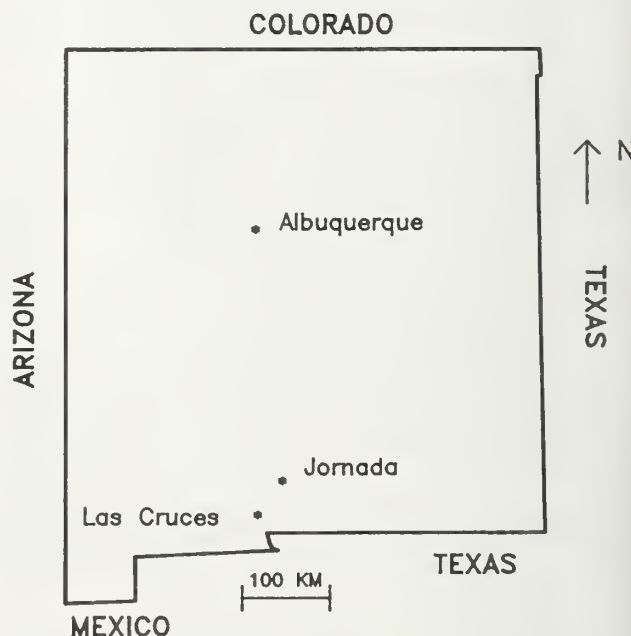


Figure 1.— Map of New Mexico showing the location of the Jornada LTER site.

Rainfall is spatially and temporally variable with 52% of the rainfall occurring between July 1 and September 30. June is the warmest month with an average maximum temperature of 36 degrees C. The maximum average temperature in January, the coolest month, is 13 degrees C (Wierenga et al. 1985).

### Plot Description

Two of the plots analyzed here were installed in late 1982 with the other two plots installed about a year later. Plots are approximately 4 square meters. Slopes on three of the plots are about 2.5%. One plot, C1 (Control 1) is slightly steeper with a slope of approximately 5%. Two of the plots have a creosote bush located in the center of the plots and two plots have little to no perennial cover (table 1). There are weighing bucket and tipping bucket rain gages at the site. Records from the weighing gage were collected through July 1985 until the gage needed repair. From August 1985 to the present, the tipping bucket gage was used.

A vertical steel frame which extends 5 to 10 cm above the soil surface forms three sides of a plot. The fourth side has flashing along it at ground level so that runoff from the plot can flow into a PVC trough which channels water and sediment into a large collection tank.

An attempt is made to examine the plots after every rain (but no more frequently than once every 24 hours) to determine if runoff occurred. Because of the difficulty of always knowing when a runoff-producing storm has occurred and of having personnel available to check, some samples from the collection tank represent more than one rain event. Sometimes more than one storm occurs within 24 hours. The collected data of interest is the total volume of runoff and the concentration of suspended sediment in the runoff. Total volume is the amount of water found in the calibrated collection tank. Suspended sediment is

measured by filtering a sample of runoff water after it has been agitated in the collection tank. Sediment yield is calculated as the sediment concentration times the runoff volume divided by the total runoff area.

### ANALYSIS

Data analyzed in this paper were selected based on two criteria. First, all four plots produced runoff during a collection period, and second, no information was missing. Seventeen collection dates met these criteria. There were more collection dates that had runoff produced on all plots, but after exceptionally large, intense rains, some of the plot collection tanks overflowed when runoff from the surrounding watershed entered the tanks. These data could not be used. However, this problem has been solved so that in the future we should not lose data from extreme (and interesting) events.

All of the collection periods analyzed were between June and November with 12 of the records in August, September, and October. There are two records from 1983, six from 1984, six from 1985 and three from 1986. Precipitation occurs between December and April at the site, but typically little to no runoff is generated.

The median number of events per collection period is four. The average amount of rain that fell in each collection period is 22.8 mm. The average intensity of events for a collection period is 7.02 mm/hr. Some storms did have much higher short-term intensities. The highest intensity within a storm for this data set is 43.81 mm/hr for eight minutes.

The initial analysis separated the data into two sets, plots with creosote and plots without creosote. All data were log transformed before analysis to satisfy the normality requirements of statistical tests. Table 2 lists means and standard deviations for each plot. Surprisingly, no significant differences in runoff or sediment yield were detected between plots with creosote and plots without creosote.

Inspection of the data for individual collection periods suggests that under some conditions, the plots did respond differently to rainfall events. This was investigated statistically by sorting the data by factors that seemed influential. The main factors seemed to be total energy received by the plot between collection periods and the antecedent soil moisture condition (table 3).

The energy equation developed by Wischmeier and Smith (1958) was used to calculate rainfall energy. The total energy was then converted to kilojoules per hectare (1 J/ha = 1 kN-m/ha = 6715.1 foot-tons/acre). The sample was divided into two parts, periods with total energy greater than 5000 kJ/ha and periods with energy less than 5000 kJ/ha. Then, the data were re-examined. A

Table 1.—Plot characteristics<sup>1</sup>. (Canopy cover is computed separately from the other categories. Rock includes gravel).

Plot	Grasses		Litter %	Rock %	Bare Ground %
	Perennial Shrubs %	and Forbs %			
C1	77.2	7.8	3.5	23.2	65.5
C2	42.8	3.0	1.3	34.0	61.7
C3	10.0	11.2	2.5	12.8	74.9
C4	0.0	1.8	0.6	25.3	72.3

<sup>1</sup> Plots C1 and C2 have creosote bushes.



t-test test indicated that runoff, sediment yield, and standardized sediment yield (sediment yield divided by runoff) were significantly greater ( $p < .05$ ) for the high energy subset.

Antecedent soil moisture condition was also investigated. Again, the sample was divided into two sets. The dividing factor was whether it was more than three days since the previous collection period at the time of collection. Standardized sediment yield was significantly different ( $p = 0.05$ ) for the two antecedent conditions with more sediment being produced from the dry set. The ratio of runoff to precipitation was significant at ( $p = 0.09$ ) with more precipitation appearing as runoff with a wet antecedent soil moisture condition, which would be expected.

Even when the data were examined in two subsets, no significant differences could be found between the plots in terms of runoff and sediment yield. In contrast, rainfall simulation studies on the Jornada have shown significant differences between plots based on cover. Elkins (1983) did rainfall simulations at an average intensity of 125 mm/hour on a creosote area near the natural plots. Creosote cover decreased sediment yields from the plots and runoff was higher from plots with less vegetation. One important difference between Elkins' simulation plots and the natural plots analyzed here is that his plots were one square meter which made the creosote bush cover much higher per unit area.

Bach (1984) simulated rainfall with an average intensity of 90 mm/hr on three different vegetation zones on the Jornada, again using one square meter plots. The upper zone has a average plot slope of 4.2% and was characterized by black grama grass (*Bouteloua eripoda*). The middle zone was characterized by snakeweed (*Xanthocephalum sarothrae*), with slopes averaging 2.9%. The lower zone consisted mostly of burro grass (*Scleropogon brevifolius*) and had a mean plot slope of 2.4%.

Table 2.--Average runoff, ratio of runoff to precipitation (RO/PR), and sediment yield (SY) by plot (Standard deviation in parenthesis).

Plot <sup>1</sup>	N	Runoff (mm)	RO/PR	SY (kg/ha)
C1	17	3.22 (6.95)	0.10 (0.11)	45.3 (84.7)
C2	17	3.85 (7.67)	0.14 (0.12)	48.5 (108.6)
C3	17	4.25 (11.28)	0.13 (0.18)	59.5 (165.2)
C4	17	4.61 (6.87)	0.20 (0.16)	101.5 (223.7)

<sup>1</sup> Plots C1 and C2 have creosote bushes. Plots C3 and C4 do not have creosote bushes.

Table 3.--Pearson's correlation coefficients between runoff, sediment yield and physical characteristics of the plots and storms.<sup>1</sup>

	RO/PR	SY	RSY	Cancov	Rock	Energy	Days
Runoff	0.86	0.62	-0.19	-0.02	0.17	0.56	0.19
RO/PR		0.39	-0.34	-0.03	0.19	0.16	-0.13
SY			0.65	0.03	0.09	0.64	0.43
RSY				0.07	-0.05	0.25	0.32
Cancov					-0.35	-	-
Rock						-	-
Energy							0.45

<sup>1</sup> RO/PR is runoff/precipitation; SY is sediment yield; RSY is sediment yield/runoff; Cancov is percent canopy cover; Rock is percent cover of rock and gravel; Energy is total storm energy; Days is number of days since previous collection period.

<sup>2</sup> Values greater than 0.23 are significant at  $p < 0.05$ .

She found sediment yield to be significantly greater from plots with less vegetation and to be significantly related to bare ground, rainfall rate, and runoff rate.

Figure 2 shows the differences between sediment yield for the natural rainfall data and the simulator data as they relate to energy levels. Simulator sediment yields have been adjusted to account for the lower energy per intensity supplied by the rainfall simulator. The energy supplied from the natural rainfall events does not approach the levels applied by the rainfall simulator. Sediment yields seem to increase with increasing energy levels, up to a point and then level off. A similar relationship (Bolin and Ward 1986) was found when the chlordane treated and untreated plots were analyzed together and compared to Elkins' and Bach's data.

## DISCUSSION

Other studies of natural rainfall plots have also found that differences are difficult to detect between plots in arid regions. Cordery et al. (1983) report on runoff from small (25 square meter) natural rainfall plots in western New South Wales, Australia. Systematic differences in runoff between plots were not evident despite differences in physical properties of the plots. Runoff from their plots was lower during a wet period with lush vegetation than during a dry period with sparse vegetation. They attributed this to the increased interception losses due to the denser vegetation.

Many studies in arid regions that have used rainfall simulators have shown significant

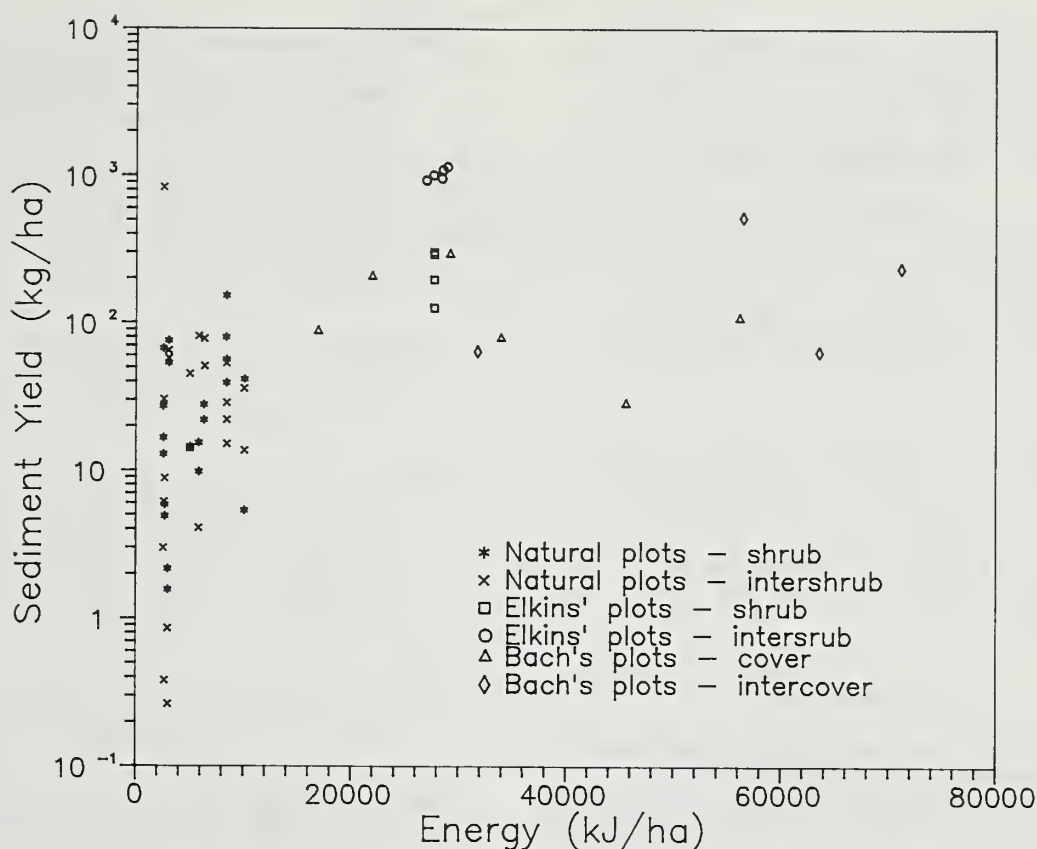


Figure 2.-- Plot of sediment yield vs. energy for the natural plots and the rainfall simulator plots.

differences in plot responses based on vegetative and soil surface conditions. Lane et al. (1987) found rock and gravel cover and canopy cover to be negatively correlated with runoff depth. Kincaid et al. (1964) also found shrub cover, grass and litter cover and gravel cover to be negatively related to runoff. In contrast, some studies (e.g. Blackburn 1975, Tromble et al. 1974) found rock cover and erosion pavement to be positively related to runoff. In the Pecos basin region of New Mexico, Smith and Leopold (1942) found that infiltration was positively correlated with vegetal density. Maybe an analysis of the energy of these different studies would help clear up the discrepancies in the role of rock cover in regards to runoff.

These studies and others that used rainfall simulators in arid and semi-arid regions with low vegetation cover have found that cover, (shrub canopy cover in particular) is an important factor in reducing runoff and erosion. Yet, two studies of runoff from natural rainfall plots in similar regions indicate that differences due to vegetation cover and rock cover are difficult to detect.

We propose the following hypothesis to explain this discrepancy. In most desert regions, cover is relatively sparse. Creosote in

particular has an open canopy which allows rain to pass freely through the canopy. Perhaps when canopy and vegetation cover is below a certain minimum value, interception losses are minimal and rainfall energy is not greatly reduced. Thus energy in a given storm would have a greater effect on runoff than would shrub cover in a given area. This seems to be true at normal storm intensities as indicated by the natural rainfall plots. However, even in desert regions, rainfall simulator studies indicate clear differences in runoff and erosion due to shrub and rock cover. Perhaps there is a threshold value of energy after which if all things remain the same, no further increase in yields occurs. At that point, differences in shrub and gravel cover would begin to appear in the data. Prior to this, their effects have been masked by the overriding role of energy.

At high energy levels, runoff and sediment yield is less affected by the energy variation and more dependent on vegetative and soil characteristics. This may help explain why statistical differences were not found between plots with different vegetation and soil features from the natural rainfall plots. Energy level is a primary factor in determining yields. At lower energies, in a sparsely vegetated area like the Jornada, the role of energy predominates in determining runoff



and sediment yield. At higher energy levels a threshold is reached in terms of additional yield from energy increases alone. At that point, differences in yield show up as a function of vegetation cover and physical properties of the soil surface.

The natural rainfall plots at the Jornada are an ongoing experiment. We feel that we have solved the problem of overflowing collection tanks from extreme storms. A combination of rainfall simulator studies at lower intensities and successful collection of data from extreme storms should shed some light on this issue.

ACKNOWLEDGEMENTS. This paper was based on research from the Jornada LTER project funded by the U.S. National Science Foundation, Grant #BSR-811466. Many individuals have contributed to the collection of the data and discussion of ideas presented in the paper. In particular, we would like to thank John Anderson, Steve Van Vactor and Steve Wondzell.

#### LITERATURE CITED

- Bach, L.B. 1984. Determination of infiltration, runoff and erosional characteristics of a small watershed using rainfall simulation. M.S. Thesis, New Mexico State University, Las Cruces, NM.
- Blackburn, W.H. 1975. Factors influencing infiltration and sediment production of semiarid rangelands in Nevada. *Water Res.* 11:929-937.
- Bolin, S.B. and T.J. Ward. 1986. Preliminary analyses and comparisons of sediment yield data from the New Mexico LTER site (Jornada site). p. 25-34. In *Sediment movement at LTER sites: Mechanics, measurement, and integration with hydrology*. Illinois State Water Survey Division, SWS Contract Report 387. Champaign, Ill.
- Cordery, I., D.H. Pilgrim and D.G. Doran. 1983. Some hydrological characteristics of arid western New South Wales. Paper presented at the Hydrology and Water Resources Symposium, Hobart, November 8-10.
- Elkins, N.Z. 1983. Potential mediation by desert subterranean termites in infiltration, runoff and erosional soil loss on a desert watershed. Ph.D. Dissertation, New Mexico State University, Las Cruces, NM.
- Kincaid, D. R., J.L. Gardner, and H.A. Schreiber. 1964. Soil and vegetation parameters affecting infiltration under semiarid conditions. *Bull IAHS* 65:440-453.
- Lane, L.J., J.R. Simanton, T.E. Hakonson and E.M. Romney. 1987. Large-plot infiltration studies in desert and semiarid rangeland areas of the Southwestern, USA. In *Proceedings of the International Conference on Infiltration Development and Application*, Honolulu, Hawaii, Jan 6-8, 1987.
- Smith, H.A. and L.B. Leopold. 1942. Infiltration studies in the Pecos River watershed, New Mexico and Texas. *Soil Science* 53(3):195-204.
- Tromble, J.M., K.G. Renard, and A.P. Thatcher. 1974. Infiltration for three rangeland soil-vegetation complexes. *J. Range. Management* 27(4):318-321.
- Wierenga, P.J., J.M. Hendrickx, M.H. Nash, J. Ludwig, and L.A. Daugherty. 1985. Variation of soil and vegetation with distance along a transect in the Chihuahuan Desert. *J. of Arid Environments* 13:53-63.
- Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1958. Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Trans. Amer. Geophys. Union* (39):285-291.

245

# PROPUESTA METODOLOGICA PARA DETERMINAR LA RELACION AREA-SIEMBRA-ESCURRIMIENTO EN CULTIVOS DE TEMPORAL<sup>1</sup>

José Villanueva Díaz,<sup>2</sup> Ignacio Sánchez Cohen,<sup>3</sup> y Hugo A. Velasco Molina<sup>4</sup>

---

Resumen.-- Se propone un modelo matemático para el aprovechamiento de lluvia "insitu" en la producción de cultivos en zonas áridas y semiáridas. El modelo al integrar diversos factores del clima, suelo y planta, deriva en una relación área siembra-escurrimiento, con lo cual se satisface teóricamente los requerimientos hídricos del cultivo.

---

## INTRODUCCION

Una extensa superficie de México se encuentra en condiciones de aridez, lo cual representa según diversos criterios del 50 al 70% de la superficie total del país. En estos lugares debido a la baja disponibilidad de agua para irrigación se practica básicamente una agricultura de temporal, originando con ello pérdidas casi continuas de los cultivos, ya que los requerimientos hídricos de especies como maíz y frijol difícilmente llegan a satisfacer con la precipitación registrada, la que además de ser mínima presenta el inconveniente de alietoridad en su distribución; aunado a esto, anualmente se incrementan en diverso grado las áreas con problemas de erosión y que entre otras causas es debido al manejo inadecuado del agua de lluvia.

Una alternativa de obtener producción en zonas con deficiente precipitación pluvial, consiste en hacer un uso óptimo e integral del recurso agua suelo, de tal manera que mediante el

uso de técnicas de cosecha de agua de lluvia "insitu" y de conservación de suelos, se logre aprovechar los escurrimientos superficiales y propiciar el desarrollo de cultivos en un sitio de almacenamiento de humedad, mediante una relación área siembra, escurrimiento.

El potencial benéfico de la técnica de cosecha de agua se deriva al considerar que un milímetro de precipitación corresponde a un litro de agua por metro cuadrado, de esto se concluye que de una pequeña área con suficiente escurrimiento se puede coleccionar un relativo gran volumen de agua, con lo cual se puede minimizar el déficit hídrico de los cultivos. Con base a lo anterior este estudio se propone los siguientes objetivos:

- 1.- Definir un modelo matemático para delimitar una relación teórica área siembra, escurrimiento para el establecimiento de cultivos, mediante la técnica de cosecha de agua de lluvia "insitu"
- 2.- Delinear una metodología para la obtención de parámetros que involucra el modelo.

## LITERATURA REVISADA

Cosecha de agua usando la superficie topográfica es el proceso de coleccionar y almacenar o cosechar la precipitación de un área que ha sido tratada para incrementar el escurrimiento de la misma (Cluff and Dutt 1966).

El uso de métodos superficiales de cosecha de agua no es una práctica nueva, pues data de hace aproximadamente 4000 años en algunas de las civilizaciones de Bronce. Esos agricultores clareaban las laderas de los cerros de roca y grava y de esta manera incrementaban los escurrimientos. De igual manera cababan diques en contorno en las laderas para coleccionar el agua y

---

<sup>1</sup>Trabajo presentado durante la reunión sobre estrategias de clasificación y manejo de vegetación silvestre para la producción de alimentos en zonas áridas (Arizona State University, 12-16 octubre, 1987).

<sup>2</sup>Investigador del Proyecto Uso Múltiple de los Recursos Forestales INIFAP-San Luis Potosí, S.L.P.

<sup>3</sup>Investigador CENID-RASPA-INIFAP. Torreón Coahuila.

<sup>4</sup>Catedrático de la Materia Uso y Conservación de Suelos. Programa Graduados. ITESM. Monterrey, N.L.



conducirla hacia las áreas de cultivo ubicadas en las partes bajas. Aun cuando esta agricultura de escurrimientos tuvo muchas fallas, estas civilizaciones lograron producir hasta con 100 mm de precipitación media anual (Evenari, Shanan y Tadmor 1982).

En la actualidad el uso de escurrimientos a través de sistemas de captación de agua de lluvia para obtener cosechas en zonas bajo condiciones pluviales deficientes vuelve a surgir como una alternativa de producción. Un sistema de captación de agua de lluvia consiste básicamente de dos partes: a) Área de escurrimiento, la cual tiene como función colectar el agua de lluvia y llevarla hasta b) Área de almacenamiento. Al aplicar ésta técnica insitu a la agricultura se ha dado origen a las denominadas microcuencas de captación de agua de lluvia; su tamaño depende fundamentalmente de cuatro factores: Magnitud de lluvia, capacidad de retención de humedad del suelo, coeficiente de escurrimiento y necesidades de agua del cultivo (Anaya, Tovar y Macías, 1976; Smith 1978). Como es poco probable que se de las mejores condiciones para la producción del cultivo (debido a la probabilidad de lluvia en cuanto a frecuencia, cantidad y distribución) la tolerancia del cultivo a la sequía es otro factor a considerar (Smith 1978).

La efectividad de las prácticas de conservación de humedad, mediante el control de escurrimientos y cosecha de agua para evitar daños por sequía, requiere no solamente aumentar el almacenamiento del agua en el suelo, sino también de condiciones de suelo que favorezcan un sistema de raíces profundo, amplio y denso que permita remover considerables cantidades de humedad para abastecer las demandas de agua del cultivo, durante los períodos prolongados en que no hay recargos de humedad en el suelo (Villarreal, Stolzy y Letey 1971).

Un sistema de concentración de agua se puede realizar usando bordos al contorno o terrazas de banco a nivel donde un área de varios metros servirá como área de escurrimiento y una segunda, pendiente abajo como área de cultivo donde será retenida el agua. La relación de las dos áreas y la relación lluvia-escurrimiento determinará la cantidad de agua que se hará disponible para el uso del cultivo. Para realizar el análisis del diseño de un sistema de bordo al contorno (Smith 1978) derivó un modelo basado en el diagrama esquemático de la Figura 1.

Donde:

Aw= Área de escurrimiento

Ac= Área de cultivo

PP= Precipitación (mm)

R= Retención de humedad en el área de escurrimiento (mm)

Q= Escurrimiento hacia el área de cultivo (mm).

PS= Profundidad de suelo (mm)

HS= Contenido de humedad del suelo, % en base volumen.

HS<sub>1</sub>= Contenido de humedad antes de la lluvia

HS<sub>2</sub>= Contenido de humedad después de la lluvia

HS<sub>3</sub>= Contenido de humedad entre lluvias

ET= Evapotranspiración diaria (mm)

D= Lámina de agua aplicada a el área de cultivo (mm)

n= Número de días entre lluvias.

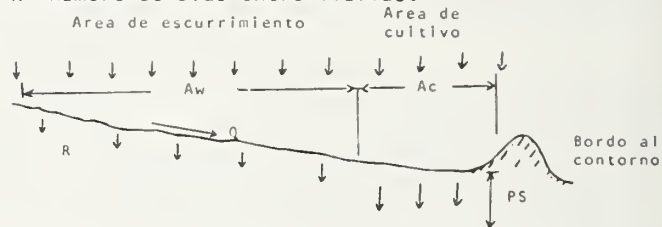


Figura 1.- Diagrama esquemático de un sistema de bordos al contorno

De la Figura 1 se obtiene lo siguiente:

$$Q = PP - R \quad (1)$$

$$D = PP + Q \frac{Aw}{Ac} \quad (2)$$

$$\text{Asimismo } D = (HS_2 - HS_1) PS \quad (3)$$

$$ET = (HS_2 - HS_3) PS \quad (4)$$

$$n = \frac{PS (HS_2 - HS_3)}{ET} \quad (5)$$

Si  $D = nET$  y PP es la precipitación promedio, entonces de la ecuación (2) se tiene que:

$$D - PP = Q \frac{Aw}{Ac} \quad (6)$$

$$\frac{Aw}{Ac} = \frac{D - PP}{Q} = \frac{NET - PP}{Q}$$

$$Aw = \frac{nET - PP}{Q} = Ac \quad (7)$$

Dándole a Ac un valor determinado para las prácticas culturales un valor de diseño Aw puede obtenerse con los datos de PP, Q y ET.

Para analizar el sistema diseñado por Smith, es necesario calcular un balance continuo de humedad para una serie de años usando varios cultivos con diferentes fechas de siembra y hábitos de crecimiento radical.

Un modelo para estimar la relación área siembra escurrimiento, basado en bordeo antierosivo fué propuesto por Velasco (1983), donde los factores que tienen mayor peso en el diseño son el clima y la planta.

Para alimentar su modelo se requieren datos como:

- Isoyeta del área de interés
- Distancia disponible entre bordos antierosivos
- Coeficiente de escurrimiento del área destinada a este propósito.
- Demanda evapotranspirativa del cultivo

Integrando los factores anteriores finalmente obtuvo la siguiente ecuación.

$$L = \frac{CE \cdot P(PP) \cdot LT}{\%P(PP)(CE - I + Ev)}$$

Donde:

CE: Coeficiente de escurrimiento (adimensional)  
%: Probabilidad de precipitación (decimal)  
PP: Precipitación promedio anual según isoyeta del lugar (m).

LT: Longitud total entre bordos antierosivos (m)

Ev: Uso consuntivo del cultivo (m)

L: Longitud del área de siembra: (m)

Anaya, Tovar, Macias (1976) considera que conociendo la cantidad de agua que necesita un cultivo y la cual no puede ser satisfecha por una precipitación probable esperada, se puede estimar la deficiencia de agua de ese cultivo durante su ciclo vegetativo, a través de la siguiente ecuación.

$$Ac = \frac{As + I}{CE} \frac{(UC - PP \times As)}{PP}$$

Donde:

Ac: Tamaño de la microcuenca

As: Área de siembra, que los agricultores tradicionalmente utilizan según el cultivo.

CE: Coeficiente de escurrimiento en el Ae

UC-PP: Total de deficiencias de agua durante el ciclo vegetativo del cultivo.

PP: Total de lluvia que cae en el tiempo que dure en desarrollarse el cultivo.

Esta tecnología supone que para cultivos en hilera una mayor equidistancia entre surcos llena los requerimientos hídricos de la especie, mientras que para cultivos tupidos, el establecimiento se puede hacer aplicando el principio de la terraza de Zingg y Hauser.

La optimización de un sistema de cosecha de agua para producción de cultivos puede llevarse a cabo mediante modelos de simulación (Asfur y Hani 1972); sin embargo la integración del modelo se tiene que hacer con pruebas de campo con lo cual se estiman las dimensiones del área de siembra y escurrimiento.

## METODOLOGIA

El desarrollo del presente modelo para cosecha de agua de lluvia se deriva al realizar ciertas modificaciones a la ecuación de Velasco (1983).

Al igual que las ecuaciones presentadas por otros autores su deducción se basa al considerar que dada una superficie entre bordos antierosivos, cierta porción va a dedicarse para escurrimiento y otra para siembra. La lluvia que escurre del

área de escurrimiento, mas la que cae directamente en el área de siembra, deberá satisfacer teóricamente los requerimientos hídricos del cultivo, dada una probabilidad de precipitación durante el ciclo vegetativo e involucrando asimismo ciertos parámetros físicos del suelo. (Figura 2).

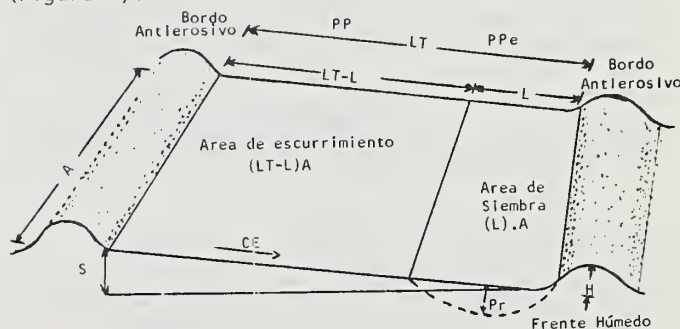


Figura 2. Diagrama esquemático para el análisis de la relación área siembra-escurrimiento.

Haciendo un análisis de la figura anterior se tendrá lo siguiente:

C.E. (PP) (LT-L) A + PPeL = La (Cc-pmp) daPrN  
Volumen de lluvia que cae en el área de escurrimiento y que es aportado a el área de siembra.cultivo. Volumen de agua de lluvia requerido por el cultivo.

Simplificando términos y desarrollando la ecuación anterior

$$A \frac{C.E. (PP) (LT-L) + PPeL}{A} = \frac{La (Cc-pmp) daPr N}{A}$$

$$C.E. (PP) (LT-L) + PPeL = L (Cc-pmp) daPr N$$

$$C.E. (PP) LT - C.E. (PP) L + PPeL = L (Cc-pmp) daPr N$$

$$L (Cc-pmp) daPr N + C.E. PPeL = C.E. (PP) LT$$

Factorisando y despejando L se obtiene finalmente la ecuación propuesta.

$$L = \frac{C.E. (PP) LT}{(Cc-pmp) daPr N + C.E. (PP) - PPe}$$

Donde:

L: Longitud del área de siembra (m)

C.E: Coeficiente de escurrimiento (Adimensional)

PP: Precipitación pluvial, según una probabilidad anual de ocurrencia y cierto periodo de retorno (m)

LT: Espaciamiento entre bordos antierosivos (m)

cc: Capacidad de campo (decimal)

pmp: Punto de marchitez permanente (decimal)

da: Densidad aparente (gr/cm<sup>3</sup>)

Pr: Profundidad del suelo o profundidades efectivas radical (m)

PPe: Precipitación efectiva (m)

N= Número de lluvias de magnitud (Cc-pmp) daPr necesarias para satisfacer los requerimientos hídricos del cultivo (Adimensional).



La obtención y deducción de los diversos factores implícitos en la ecuación, son de fácil cálculo; así por ejemplo la precipitación probable se puede estimar mediante metodologías ya conocidas como el método de "distribución acumulativa" o el de gama incompleto; precipitación efectiva a través del método desarrollado por Doorenbos y Pruitt o el Blaney-Criddle y coeficiente de escurrimiento mediante lotes de escurrimiento. Por otra parte el parámetro que pudiese tener cierta dificultad en su determinación es el parámetro "N", ya que involucra diversos factores como son: a) Estación de crecimiento, b) Uso consuntivo, c) Factor de abatimiento de humedad disponible y d) Patrón de extracción de humedad disponible a una distancia igual a la profundidad efectiva radical del cultivo, o cuando el suelo es limitante a la profundidad del suelo.

La estación de crecimiento es de los parámetros de mayor importancia para evaluar los recursos agroclimatológicos de cierta región y se refiere al periodo o estación de condiciones más favorables para el desarrollo de cultivos y se basa en un modelo simple de humedad, comparando la precipitación (PP) con la evapotranspiración del cultivo (ET) o en su defecto la evaporación (Ev) obtenida de un tanque evaporímetro tipo "A".

Una estación de crecimiento se divide en varias etapas como son el inicio de la estación de crecimiento, período húmedo, terminación de la estación lluviosa y terminación del período de crecimiento como se observa en la Figura 3.

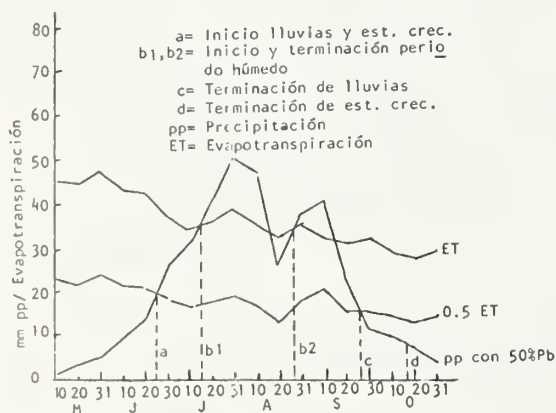


Figura 3. Estación de crecimiento típica

Desafortunadamente en las zonas áridas y semiáridas de México, la evapotranspiración supera casi siempre a la precipitación, por lo que prácticamente no existe estación de crecimiento como se observa en la Figura 4.

b) El uso consuntivo es de fácil obtención, para lo cual existe diversidad de metodologías. Se sugiere que para fines de investigación se utilicen métodos directos como es el gravimétrico y para fines prácticos métodos indirectos como el de Blaney-Criddle.

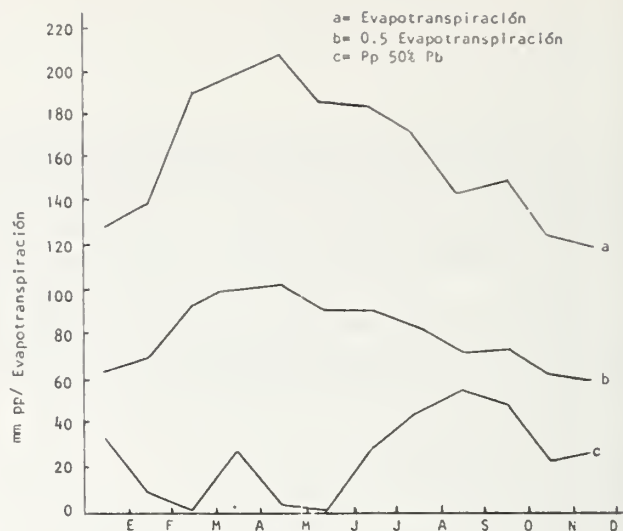


Figura 4. Estación de crecimiento en zonas áridas

c) Factor de abatimiento de humedad disponible. Esta variable se refiere al porcentaje de humedad que se va a permitir al cultivo antes de que un evento lluvioso teóricamente suceda, bajo condiciones de riego, experimentalmente se ha demostrado que el crecimiento de los cultivos disminuye poco cuando la humedad se mantiene tanto a capacidad de campo como cuando se permite que el cultivo consume el 75% de la humedad disponible y decae bruscamente al consumirse el 100%. De ahí para el cálculo de N se utilice 75% de humedad disponible.

d) Patrón de extracción de humedad disponible. Un cultivo no consume uniformemente el agua en los diversos estratos del suelo. Cuando el suelo se encuentra a capacidad de campo, casi toda el agua que el cultivo requiere va a ser absorbida del estrato superior del suelo; sin embargo conforme la humedad va disminuyendo por falta de riego o lluvia, se hará un mayor uso del agua contenido en estratos inferiores. En términos generales un patrón de extracción promedio para todos los cultivos se muestra en la Figura 5.

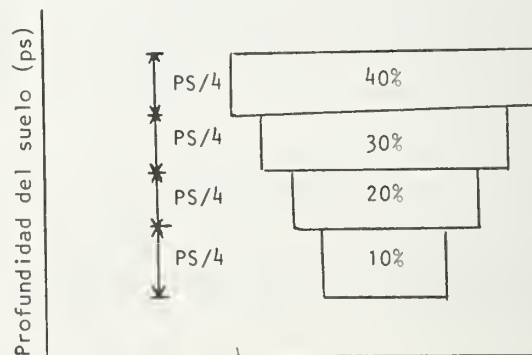


Figura 5.- Patrón de extracción de agua del suelo por las raíces de las plantas.

Una vez determinados los cuatro anteriores parametros se está en disponibilidad de obtener el parámetro "N" y finalmente calcular la relación área siembra-escorrimento para cierto cultivo en particular.

Con el fin de ejemplificar la tecnología anterior y con datos de suelo y clima del Area Experimental Forestal "Ex- Hacienda Vallejos" se procedió a realizar una estimación de la relación área siembra escurrimiento para una especie caducifolia.

Datos requeridos.

C.E.= 0.5 (Obtenido en lotes de escurrimiento)  
PP 50% Prob. Según método de "Distribución acumulativa"

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
(mm)	10	2	11	13	39	42	25	32	49	23	4	9	248

PPE (Según método de Blaney-Criddle)

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
(mm)	9.52	1	12	36	39	24	30	45	22	4	9		233

LT=30 m (Calculada con una pendiente de 2%)

Especie: Durazno (*Amygdalus persica* L.)

Uso consuntivo: 650 mm (Según método de Blaney-Criddle).

Lámina de agua disponible según Tabla 1.

Tabla 1.-- Características físicas del suelo del Area Experimental Forestal Ex-Hacienda Vallejos.

Prof.Suelo (cm)	0-10	0-30	30-60	60-100
da(gr/cm <sup>3</sup> )	1.35	1.35	1.4	1.3
cc(%)	27	27	22	31.0
pmp(%)	14	14	10	19.0
Textura	Migajón arcilla	Migajón arcilla	Migajón	Migajón arena
Lámina de agua disponible (cm)	1.75	3.51	4.2	6.24

Una vez determinados los datos anteriores se calcula "N" según la tabla 2.

Tabla 2.-- Organización de datos para calcular "N"

Prof. 100cm/4 (cm)	Hum.disp. (H.D.) por estrato (cm)	Patrón Extrac. de hum. (%)	*Demanda evapo. diaria (cm/día/ estrato)	Tiempo de abatimiento de H.D. por estrato (días)
25	4.06	40	0.178x0.4=0.071	57
50	4.2	30	0.178x0.3=0.053	79
75	4.2	20	0.178x0.2=0.035	120
100	3.9	10	0.178x0.1=0.017	219

Demanda Evapotranspirativa diaria=  $\frac{650\text{mm}}{365\text{ días}} = 1.78\text{ mm/día} = 0.178\text{ cm/día}$

Si se considera que el grueso de la actividad de extracción por las raíces se lleva a cabo en el primer estrato, entonces el valor de "N" estará

dado por:

$N = \frac{\text{Días del ciclo vegetativo}}{\text{Tiempo de abatimiento de humedad disponible en el primer estrato}}$

De ahí que:

$$N = \frac{365}{57} = 6.4$$

Sustituyendo los datos en la ecuación propuesta, finalmente se calcula la relación área siembra-escorrimento.

$L = \frac{C.E. (PP) LT}{(cc-pmp)daPrN C.E (PP)-PPE}$

$$L = \frac{0.5 \times 0.248 \times 30.0}{(0.27 - 0.14) 1.35 \times 1.0 \times 6.4 + 0.5 \times 0.248 - 0.233} = 3.7\text{m} = 4.0\text{m}.$$

De dicho análisis se obtiene una relación de 1: 7.5m, es decir de 7.5 m entre bordeo antierosivo 1m se dedicará al establecimiento del frutal y los 6.5 m restantes como escurrimiento.

## RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Integrando diversos factores del suelo, clima y planta, se obtuvo una ecuación, la cual teóricamente satisface los déficits hídricos de los cultivos a través de una relación área siembra, área escurrimiento. La veracidad de la ecuación depende de la metodología que se utilice en la obtención de cada parámetro y al respecto es deseable que algunos de ellos sean obtenidos en el área donde sea validada la ecuación como es el caso del coeficiente de escurrimiento, patrón de extracción de humedad disponible, del cultivo, uso consuntivo y factor de abatimiento de humedad disponible.

El parámetro "N" es de importancia en la estimación de la relación área-siembra escurrimiento por involucrar factores físicos del suelo y de las plantas. Teóricamente representa el número de lluvias necesarias durante el ciclo del cultivo de una magnitud tal que cada evento lluvioso eleve la humedad del suelo del área de cultivo a capacidad de campo a una profundidad igual a la profundidad efectiva radical del cultivo, cuando este ha consumido un 75% de la humedad disponible. Este valor se ha comprobado que en general constituye el límite de humedad disponible en el cual los cultivos no se ven afectados en su crecimiento, sin embargo existen ciertas especies tolerantes a sequía que pueden soportar mayores abatimientos de humedad disponible, sin que decaigan significativamente sus rendimientos. Lo anterior debe considerarse en la elección de las especies a establecer, pues es de esperarse que aquellas con mejor tolerancia a la sequía tendrían mayores posibilidades de éxito.

La parte complementaria del presente estudio, consiste en la aplicación y validación del modelo



propuesto, requiriendose su implementación bajo sitios representativos de condiciones áridas y semiáridas, con especies perennes (debido al uso de probabilidades de lluvia, los cultivos anuales pueden soportar en menor escala déficits hídricos) y tolerantes a sequía de tal manera que pueden tener mayor probabilidad de éxito bajo un sistema de cosecha de agua de lluvia "insitu".

#### BIBLIOGRAFIA CITADA

- Anaya G.M., Tovar S.J.L. y Macias L.A. 1976. Métodos de captación de lluvia para zonas agrícolas con temporal deficiente. Colegio de Postgraduados de Chapingo, México.
- Asfur, Hani S., 1972. Optimization of water harvesting systems, ph.D. Dissertation, University of California. Riverside.
- Cluff, C.B., G.R. Dutt. "Using salt to increase

irrigation water" Progressive Agriculture, Vol. 28(4), Tucson, Arizona. University of Arizona, 1966 pp. 12-13

- Evenari, M. 1982. The Negev. The Challenge of a desert; 2nd. edition. Library of Congress, cataloging in the publication data. Harvard College. pp. 220-275.
- Smith, G.L. 1978. Water harvesting technology applicable to semiarid, subtropical climates. Colorado State University Fort Collins, Colo.
- Velasco Molina H.A. 1983. Problemario Uso y Manejo del Suelo. Edit. LIMUSA. pp. 80-81.
- Villareal E., L.H. Stolzy y J. Letey Jr. 1971. Producción de sorgo y avena de temporal bajo microcuencas y tratamiento de modificación del perfil del suelo en Apodaca N.L. Memorias del V Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo.

245

# POTENCIAL HIDRICO DIURNO Y ANUAL DE *PINUS CEMBROIDES* Y *PINUS DISCOLOR* EN LAS SERRANIAS MERIDIONALES DE SAN LUIS POTOSI

Héctor M. Benavides Meza<sup>2,3</sup> y Edmundo García Moya<sup>2</sup>

Resumen.--El potencial hídrico ( $\Psi_w$ ) de las especies piñoneras *Pinus cembroides* y *P. discolor* fue registrado bajo condiciones de campo durante un día de cada mes, en un año. *P. cembroides* presenta, por lo general, valores más bajos de  $\Psi_w$  que *P. discolor*, aunque no siempre estadísticamente significativos. Ambas especies presentan además un valor umbral de  $\Psi_w$ , situado para *P. discolor* entre -0.9 a -1.1 MPa y para *P. cembroides* entre -1.1 a -1.3 MPa, el cual ocasiona un cierre estomático que se refleja en el incremento del  $\Psi_w$  de las plantas, en las horas subsecuentes después de que se alcanzó dicho valor.

## INTRODUCCION

En las zonas áridas de México existe un gran número de especies vegetales con potencial alimentario sujetas a recolección, en las cuales se observa una disminución sensible de su producción en razón del deterioro del entorno físico-biótico, lo cual pone en tela de juicio su capacidad productiva en forma sostenida. Los bosques de piñoneros son un ejemplo tipo de esta situación, pues han sido ampliamente utilizados por los habitantes de estas regiones, por su madera, sitios de pastoreo o la recolección de piñones.

## ANTECEDENTES

Los bosques de piñoneros son masas arboladas puras o mixtas y se ubican en los macizos montañosos enclavados o circundantes a las zonas áridas y semiáridas del país; generalmente se desarrollan bajo condiciones ambientales restrictivas, entre otras el agua.

*Pinus cembroides* Zucc. y *Pinus discolor* Bailey y Hawks., son dos de los varios taxa presentes en el desierto chihuahuense. La distribución de *P.*

*cembroides* es muy amplia, se extiende desde los Estados de Puebla, Veracruz y Tlaxcala en el centro de la República Mexicana, hasta el oeste del Estado de Texas en los E.U.A., entre los 1450 y 2700 msnm. Por otra parte, la distribución de *P. discolor* es más restringida, sus poblaciones principales se encuentran en la frontera de estos dos países, principalmente en el SE de Arizona, SW de Nuevo México y N de Sonora y Chihuahua, entre los 1300 a 2700 msnm; asimismo al sur del paralelo 30°N, se encuentran poblaciones de esta especie en los Estados de Chihuahua, Durango y San Luis Potosí; este estado es donde se presente quizás su límite de distribución meridional, coexistiendo frecuentemente con la primera especie (Martínez 1948; Bailey y Hawksworth 1979; Passini 1982; Bailey Snajberk y Zavarín 1982; Bailey y Hawksworth 1983; Zavarín y Snajberk 1985 y Zavarín y Snajberk 1986).

Entre las principales características que diferencian a estas especies, se tiene a la ausencia de estomas en la cara dorsal de las acículas de *P. discolor*, mientras que en *P. cembroides*, las hojas son anfiestomáticas (Bailey y Hawksworth 1979). Esta diferencia estomática permitiría suponer una respuesta diferente en el balance hídrico en las dos especies.

Como ha sido comentado por Waring y Cleary (1967); Ritchie y Hinckley (1975) y Kramer (1983) entre otros, la referencia más satisfactoria de la condición hídrica de las plantas es a través de la medición del potencial hídrico ( $\Psi_w$ ). Una forma de conocer lo anterior es por medio de la bomba de presión tipo Scholander, la cual es utilizada para conocer el estatus hídrico de las especies, al determinar el potencial de presión del xilema aplicando gas en la cámara de presión. La importancia de lo anterior se manifiesta al permitir de esta

<sup>1</sup> Trabajo presentado en la Reunión de Estrategias de Clasificación y Manejo de Vegetación Silvestre Para la Producción de Alimentos en Zonas Áridas, Tucson, Az.

<sup>2</sup> Estudiante Graduado y Profesor Investigador Titular del Centro de Botánica, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx. 56230, México.

<sup>3</sup> Domicilio actual.-Centro de Investigaciones Forestales y Agropecuarias del D.F., INIFAP, SARH, Av. Progreso No.5, Coyoacán, México, D.F., 04110, México.



forma, conocer el modo en que las plantas responden a un factor tan importante y limitado como es el agua en estos lugares.

Con base en lo anterior, el objetivo del presente estudio fue el de determinar el comportamiento diurno y anual del potencial hídrico en ambas especies, bajo la hipótesis de que la probable distribución de las poblaciones de *P. cembroides* y *P. discolor* este influenciada por un diferente balance hídrico.

#### MATERIALES Y METODOS

El presente estudio se realizó en la localidad de La Amapola (21°56' N y 101°22'W), inserta en la región fisiográfica que Rzedowski (1965) denominó como Serranías Meridionales del Estado de San Luis Potosí. El lugar presenta un substrato ígneo de tipo riolítico y el suelo es de tipo litosol eútrico, con un pH que varía de 4.8 a 5.6; con un bajo contenido de mantillo, alto porcentaje de pedregosidad y claras evidencias de erosión. El clima de la región es templado, semiseco, extremo y con un régimen de lluvias en verano (BS<sub>1</sub>kw (e)g). La vegetación del lugar es de tipo encinar-piñonar, limitada hacia las partes bajas por pastizal y hacia las partes altas por chaparral de encinos (*Quercus* spp), *Arctostaphylos pungens*, y otras especies de pino. En la localidad se encuentran poblaciones puras y mixtas de *P. cembroides* y *P. discolor* en función de la exposición; las poblaciones puras de *P. discolor* se sitúan en exposiciones norte y noreste, las de *P. cembroides* en las sur, suroeste y oeste y las poblaciones mixtas en una amplia gama de exposiciones (Cetenal, 1973; Rebolledo, 1982; Avila, 1985). En este sitio se localizó un rodal mixto en un paraje con exposición noreste del Cerro del Capulín. Se utilizaron cinco

árboles de cada especie, con diámetros normales entre 20 y 30 cm y 6 a 7 m de altura, no estando ninguno suprimido. Las mediciones del potencial de presión del xilema se realizaron con una bomba de presión tipo Scholander (modelo 600, PMS Cny.), utilizando aire comprimido e introduciendo en la cámara, de dos a cuatro ramitas de cada árbol, situadas entre 1 y 2 m de altura, y tomando en cuenta las recomendaciones dadas por Ritchie y Hinckley (1975). Las mediciones se efectuaron cada hora desde las 6:00 hrs hasta las 18:00 hrs, en un día a mediados de cada mes y durante un año (abril 85 a marzo 86). Para comparar los valores promedio de  $\Psi_w$  obtenidos de cada especie, se utilizó una prueba de "T".

#### RESULTADOS

La Figura 1 muestra los datos mensuales de precipitación registrados durante el período de estudio. Los meses con mayor precipitación fueron junio y julio, aunque en mayo y agosto se presentaron también valores altos. Por el contrario, desde septiembre se registraron bajas precipitaciones, en especial en los meses de septiembre, noviembre, diciembre y febrero o nula, como en enero y marzo. Asimismo, en la Figura 1 se observa la curva diurna de  $\Psi_w$  registrada en el mes de abril. Se aprecian varias horas con diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) y altamente significativas ( $P < 0.01$ ), en especial entre las 10:00 y 14:00 hrs. En las gráficas de los meses de mayo y junio (Figura 2), se observa una respuesta muy fluctuante o dinámica en los resultados obtenidos de  $\Psi_w$ , pues se encontró un constante aumento y disminución del mismo a lo largo del día; el  $\Psi_w$  no decayó más allá de -1.0 MPa en estos meses.

Conforme se presentaron las lluvias, el número

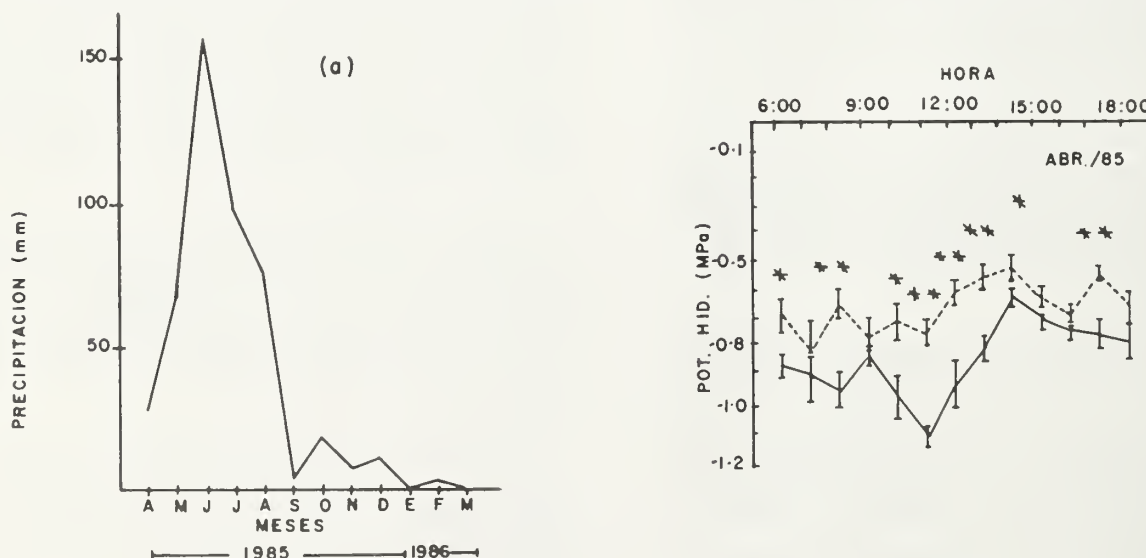


FIGURA 1.--(a) VALORES MENSUALES DE PRECIPITACION REGISTRADOS EN LA ESTACION DE EL PEAJE, S.L.P. Y CURVA DEL POTENCIAL HIDRICO DE *P. discolor* (---) Y *P. cembroides* (—) EN EL MES DE ABRIL DE 1985. LAS BARRAS INDICAN EL ERROR ESTANDARD. NIVELES DE SIGNIFICANCIA: \* =  $P \leq 0.05$ , \*\* =  $P \leq 0.01$ .

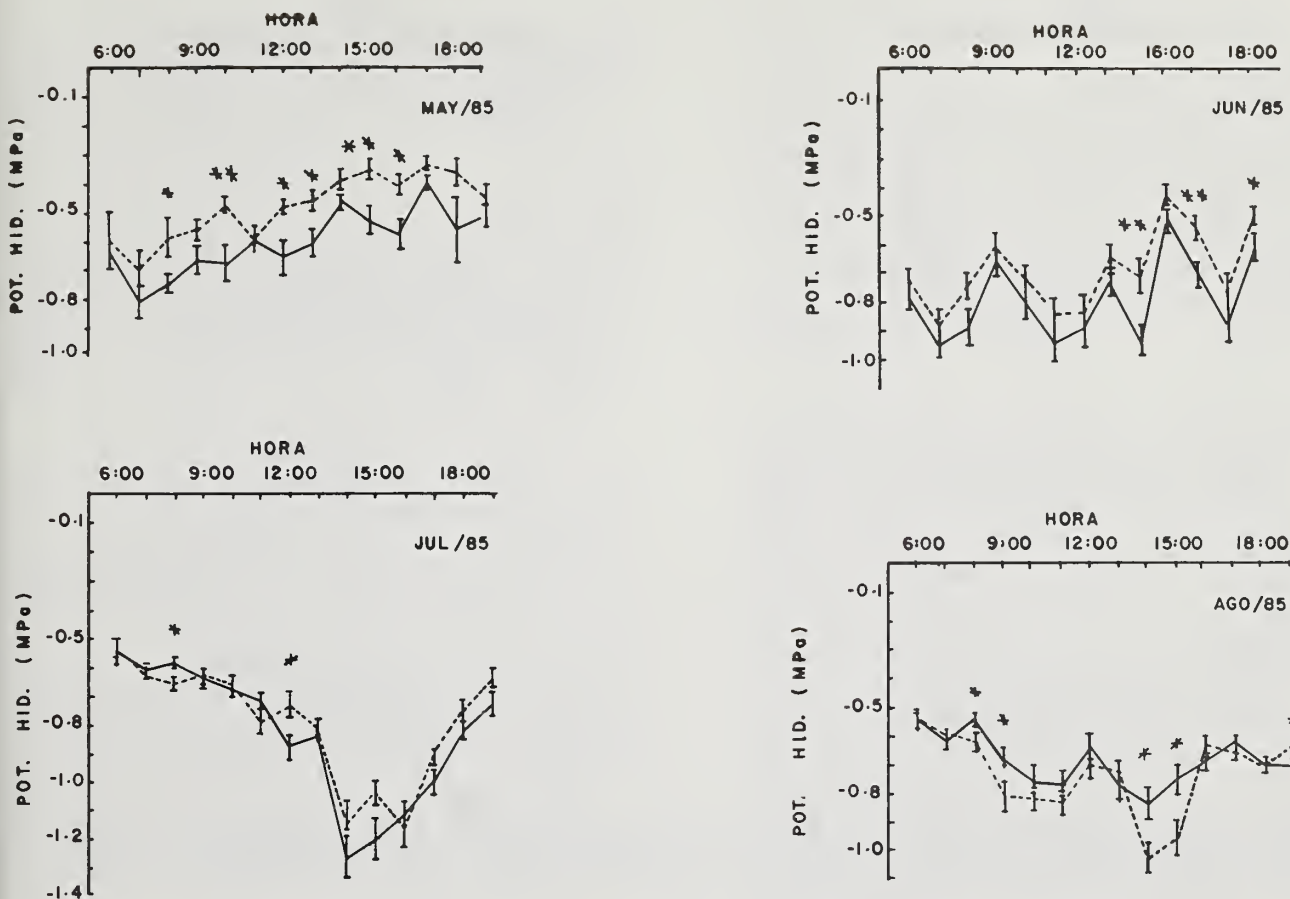


FIGURA 2.- CURVA DEL POTENCIAL HIDRICO DIURNO DE *P. discolor* (---)Y *P.cembroides* (—) EN LOS MESES DE MAYO, JUNIO, JULIO Y AGOSTO DE 1985. LAS BARRAS INDICAN EL ERROR ESTANDAR. NIVELES DE SIGNIFICANCIA: \* =  $P \leq 0.05$ , \*\* =  $P \leq 0.01$ .

de horas con diferencias significativas entre las especies disminuyó; la medición del mes de julio solo registró dos horas con diferencias significativas (8:00 y 12:00 hrs.); asimismo se observó una seria disminución del  $\Psi_w$  a las 14:00 hrs en ambas especies, -1.14 MPa en *P. discolor* y -1.26 MPa en *P. cembroides*, ocasionado probablemente por un alto déficit de presión de vapor (DPV), que provocó un aumento en la demanda de humedad, la reducción del  $\Psi_w$  y un consecuente cierre estomático en las plantas, que se reflejó en el aumento progresivo del  $\Psi_w$  durante el resto de la tarde, pues a las 18:00 hrs, se registró un potencial de -0.64 MPa en *P. discolor* y -0.72 MPa en *P. cembroides*. Durante el mes de agosto (Fig. 2), se volvió a incrementar el número de horas con valores estadísticamente significativos y se presentó asimismo un comportamiento fluctuante en los valores de  $\Psi_w$ , i.e., un aumento y disminución de los valores, que pueden reflejar una apertura y cierre de los estomas. En este mes se registró una disminución marcada en el  $\Psi_w$  a las 14:00 hrs, llegando a -0.84 MPa en *P. cembroides* y -1.04 MPa en *P. discolor*. Esta ocasión fue una de las pocas veces en que se presentó un valor menor de  $\Psi_w$  en *P. discolor* en comparación con *P. cembroides*. Es interesante resaltar que durante la época de lluvias, no obstante la menor cantidad de horas con diferencias significativas, *P. cembroides* mos-

tró valores más bajos de  $\Psi_w$ , aunque estos valores diferían, por lo general, en solo 0.1 MPa entre una y otra especie.

A partir del mes de septiembre se presentó una disminución en la precipitación (Fig.1), pues en este mes sólo se registraron 4.2 mm en total y se volvió a observar un aumento en las horas que presentaron diferencias estadísticamente significativas. En octubre (Fig. 3), se encontraron los potenciales hídricos más bajos (-0.9 MPa), registrados durante la primera medición del día (6:00 hrs) para las dos especies y disminuyeron en la siguiente hora a -1.05 MPa en ambas especies. Después de esta lectura, se presentó un comportamiento diferente en las dos especies, *P. cembroides* registró una mayor disminución del  $\Psi_w$  una hora después, ya que llegó a -1.2 MPa, mientras que en *P. discolor* se registró un aumento del  $\Psi_w$  (-0.9 MPa) en comparación con la medición anterior. Esta situación se volvió a dar en la medición de las 16:00 hrs, pues *P. discolor* y *P. cembroides* presentaron valores similares (-0.96 MPa) a esa hora y en la medición posterior (17:00 hrs), *P. discolor* mostró un notable aumento del  $\Psi_w$  (-0.81 MPa) mientras que en *P. cembroides* disminuyó aún más (-1.13 MPa). Esta respuesta diferente podría indicar la presencia de valores umbral de  $\Psi_w$  distintos en las dos especies.



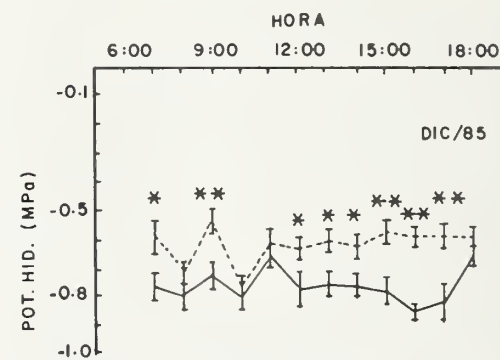
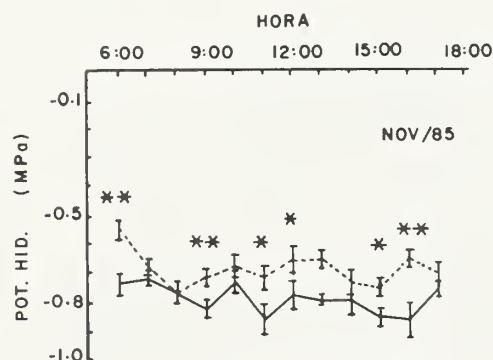
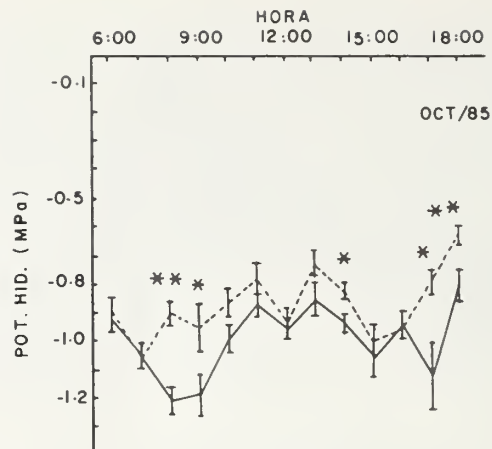
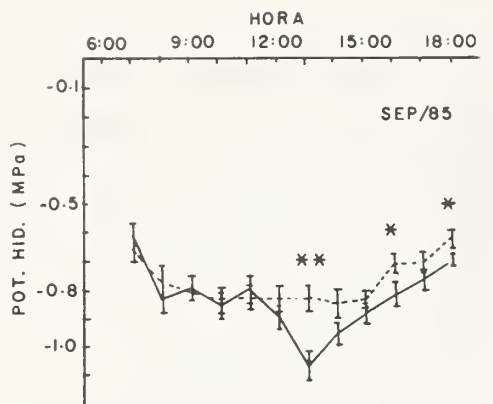


FIGURA 3.- CURVAS DEL POTENCIAL HIDRICO DIURNO DE *P. discolor* (---) Y *P. cembroides* (—) EN LOS MESES DE SEPTIEMBRE, OCTUBRE, NOVIEMBRE Y DICIEMBRE DE 1985. LAS BARRAS INDICAN EL ERROR ESTANDAR. NIVELES DE SIGNIFICANCIA: \* =  $P \leq 0.05$ , \*\* =  $P \leq 0.01$ .

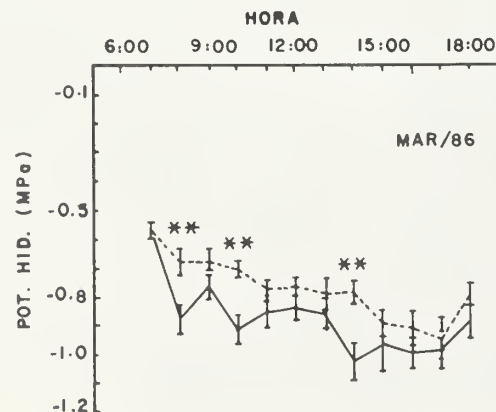
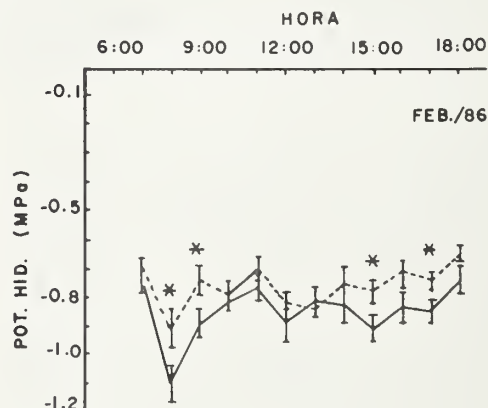
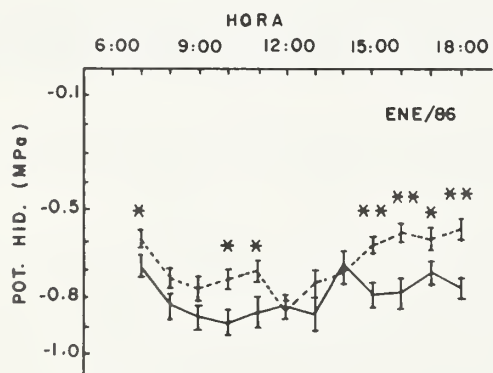


FIGURA 4.- CURVAS DEL POTENCIAL HIDRICO DIURNO DE *P. discolor* (---) Y *P. cembroides* (—) EN LOS MESES DE ENERO, FEBRERO Y MARZO DE 1986. LAS BARRAS INDICAN EL ERROR ESTANDAR. NIVELES DE SIGNIFICANCIA: \* =  $P \leq 0.05$ , \*\* =  $P \leq 0.01$ .

Este comportamiento fluctuante también es muy marcado durante los meses de noviembre y diciembre (Fig. 3). Durante estos meses no se registraron valores por abajo de -0.8 MPa en P. discolor y de -0.9 MPa en P. cembroides, no obstante la escasa precipitación mensual registrada.

En el mes de enero (Fig. 4), no disminuyó el  $\Psi_w$  de ambas especies de los valores mencionados anteriormente, aunque aumentaron los valores estadísticamente diferentes en ciertas horas de medición entre las dos especies, en especial hacia el final del día de muestreo. Pinus cembroides presentó comportamiento más fluctuante que P. discolor.

En el mes de febrero (Fig. 4), se observó una drástica disminución del  $\Psi_w$  a las 8:00 hrs en ambas especies; P. cembroides alcanzó valores de -1.1 MPa y P. discolor de -0.9 MPa, lo que ocasionó un cierre estomático muy marcado, sobre todo en P. cembroides, pues se registró un aumento constante del  $\Psi_w$  hasta las 11:00 hrs, presentándose posteriormente una fluctuación del mismo.

En el mes de marzo (Fig. 4), se observó un comportamiento del  $\Psi_w$  algo diferente a los meses anteriores, en especial en P. discolor, pues se registró una disminución progresiva del  $\Psi_w$  hasta las 17:00 hrs, llegando a -0.95 MPa a esa hora y aumentando después a -0.8 MPa a las 18:00 hrs. P. cembroides registró un comportamiento cambiante a lo largo del día y presentó una reducción mayor del  $\Psi_w$  a las 8:00 hrs, fluctuando posteriormente y llegando a -1.04 MPa a las 14:00 hrs.

## DISCUSION

La información derivada del presente trabajo, muestra que P. discolor casi siempre presentó potenciales hídricos más altos (de 0.05 a 0.1 MPa o más) que P. cembroides. Aunado a lo anterior, en los meses de estiaje (septiembre a marzo), aumentaron las horas con valores estadísticamente significativos. Lo anterior podría indicar una diferencia en la pérdida de agua por las hojas o en la capacidad de absorción por las raíces entre las dos especies. Benavides (datos no publicados) no encontró diferencias en la conductancia estomática en una población mixta de estas especies en La Amapola, S.L.P., aunque el período de muestreo no fue tan amplio como el de este trabajo.

El comportamiento diurno del potencial hídrico encontrado en los pinos estudiados, no coincide con lo reportado por otros autores. Pereira y Kozlowski (1976) consignan para Abies balsamea y Pinus resinosa, un decremento constante de los valores de  $\Psi_w$  hasta ciertas horas del día, por lo general entre las 13 y 15 horas o antes, según las condiciones climáticas, y una recuperación posterior del  $\Psi_w$  durante las últimas horas de la tarde, incrementándose aún más por la noche. Una respuesta similar ha sido reportada también por Pereira y Kozlowski (1977) en Pinus banksiana y P. resinosa; Hellkvist y Parsby (1976) en Pinus sylvestris y Cline y

Campbell (1976) en Pinus monticola y algunas latifoliadas.

Por otra parte, no se observó una reducción marcada del  $\Psi_w$  conforme se acentuó el estiaje, como lo menciona Kozlowski (1982) al citar varios trabajos, aunque si hay cierta disminución del  $\Psi_w$ , lo cual se observa en los valores registrados durante la primera medición del día, pues por ejemplo, en el mes de julio (Fig. 2) el  $\Psi_w$  a las 6:00 hrs, estaba entre -0.53 y -0.55 MPa para las dos especies y en el mes de octubre se encuentra entre -0.9 y -0.93 MPa; sin embargo, hay cierta variación durante todo el año.

Por el tipo de respuesta de  $\Psi_w$  encontrado en estas dos especies en una población mixta, puede suponerse la presencia de un valor de umbral que ocasiona un cierre estomático total. Este valor estaría situado entre -1.1 a -1.3 MPa para P. cembroides, ya que nunca se encontró un valor por debajo de este último, aún en los meses bajo condiciones de escasa o mínima precipitación. En P. discolor este valor de umbral se encuentra situado en potenciales más altos, entre -0.9 y -1.1 MPa, ya que como en el caso anterior, no se encuentran valores por debajo de dicha amplitud. Aunado a lo anterior, es probable que los estomas de ambas especies sean sensibles a los cambios de DPV, como ha sido reportado por Goldstein, Brubaker y Hinckley (1985) en Picea glauca, lo cual permitiría explicar esa fluctuación diurna del  $\Psi_w$ , pues estaría en función principalmente de los aumentos de dicho factor. Lo anterior se pone de manifiesto en la reducción del  $\Psi_w$  que se presenta durante las primeras horas de la mañana, hasta cierta medición y el consecuente aumento del  $\Psi_w$  en las horas posteriores, sin haberse alcanzado los valores de umbral mencionados arriba. Este cierre estomático ocasiona un aumento del  $\Psi_w$  (como se observa en las figuras) y la rapidez con que se incrementa dependerá del abasto de agua en el suelo o de la capacidad de absorción por las raíces, y que permitirá, posteriormente, una nueva apertura estomática, la cual se refleja en la disminución, una vez más, del  $\Psi_w$  en las horas subsecuentes. La relación entre la conductancia estomática y el potencial hídrico ha sido reportada por varios autores, entre los que destacan Hsiao (1973), Hinckley, Lassoie y Running (1978) y Kozlowski (1982) al citar a varios autores. Un ejemplo de lo anterior se presenta en las figuras de los meses de mayo y junio a las 7:00 hrs o en diciembre a las 8:00 hrs, aunado a las fluctuaciones diurnas registradas durante casi todos los meses. Por otra parte, un ejemplo del mecanismo de cierre estomático derivado de un valor de umbral puede apreciarse para P. cembroides en las figuras de abril (11:00 hrs), julio (14:00 hrs) septiembre (13:00 hrs), octubre (8:00 hrs) y febrero (8:00 hrs), en las cuales se observa un acentuado incremento del  $\Psi_w$ , en las horas posteriores a dicha medición, hasta llegar a cierto valor que ocasiona una nueva apertura estomática, si acaso el cierre estomático se presentó en las primeras horas del día, por ejemplo en los meses de octubre y febrero (Figuras 3 y 4, respectivamente). Para P. discolor lo anterior se aprecia en las figuras del mes de julio (14:00 hrs) y octubre (7:00 hrs).



Lo anterior explica el porqué de la ubicación de P. cembroides en las exposiciones más secas (sur y suroeste), debido a que el valor del umbral le permite tener sus estomas abiertos por un tiempo más prolongado en comparación con P. discolor, el cual los cierra más rápido y lo obliga a situarse en exposiciones menos extremas como lo son la norte y noroeste.

Este mecanismo derivado de un umbral ha sido reportado por Whitehead (1980) en P. sylvestris (-1.6 MPa); en Pseudotsuga menziesii (-20 barias) por Running (1976); Lopushinsky (1969) en Pinus contorta y Pinus resinosa (-14 a -17 barias) y en Abies grandis (-25 barias); en Quercus texana y Q. fusiformis (-4.2 y -3.2 MPa, respectivamente) por Fonteyn, McClean y Akridge (1985). En otras especies de piñoneros también se han reportado estos valores umbral. Barnes y Cunningham (1987) encontraron una reducción del  $\Psi_w$  de Pinus edulis en el período de sequía veraniega, situándose los valores mínimos de  $\Psi_w$  entre -1.85 a -2.26 MPa (más bajos que los encontrados en esta investigación) y reduciéndose la tasa neta de fotosíntesis en valores de  $\Psi_w$  de -1.8 MPa; estos autores comentan que la distribución de Pinus edulis esta limitada por su menor tolerancia al déficit hídrico en los habitats más xéricos y que los piñoneros sobreviven exitosamente largos períodos con escasa agua. Drivas y Everett (1987) reportan valores más bajos de  $\Psi_w$  en plántulas de Pinus monophylla que los citados en este trabajo, pues durante el mediodía, las plántulas llegaron a alcanzar hasta -2.4 MPa y mencionan la presencia de un umbral para las plántulas, situado entre -2.0 y -2.5 MPa, que cuando es alcanzado, se estabiliza por el resto del día.

Running (1976) comenta que este valor de umbral puede ocasionar que la conductancia estomática se reduzca hasta 10 veces, mientras que el mecanismo derivado del incremento del DPV, hace que se reduzca la conductancia solo en la mitad.

Fonteyn et al. (1985) comentan que las especies de Quercus con las cuales trabajaron, presentan un comportamiento del  $\Psi_w$  muy especial, lo cual los lleva a suponer que estas especies son evasoras a la sequía (drought avoidant), en función principalmente a que no presentan una marcada disminución del  $\Psi_w$  registrado al amanecer, con el medido en las horas subsecuentes, en comparación con Juniperus ashei, el cual sí muestra una disminución notable del  $\Psi_w$  a lo largo del día y en función principalmente con el DPV. El tipo de curvas en la respuesta diurna del  $\Psi_w$  de P. cembroides y P. discolor hacen suponer que en estas especies se da un mecanismo similar de resistencia a la sequía al evadir ésta, el cual les permite soportar largos períodos de falta de agua, muy frecuentes en estos lugares.

#### CONCLUSIONES

Por los resultados obtenidos en la presente investigación se concluye que P. cembroides y P. discolor presentan un mecanismo de cierre estomá-

tico que actúa al alcanzarse un valor de umbral de  $\Psi_w$ , el cual se sitúa en potenciales más altos para P. discolor, aunado a un cierre estomático en ambas especies debido principalmente al DPV. Por otra parte, P. cembroides mostró generalmente valores más bajos de potencial hídrico en comparación con P. discolor.

#### AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial a los Sres. Dionicio Palafox C. y Jesús Antero de la Torre, ya que sin su apoyo en la toma de datos en el campo, no hubiera sido posible realizar la presente investigación.

#### LITERATURA CITADA

- Avila, N.J.A. 1985. Caracterización de los piñoneros Pinus cembroides Zucc. y P. discolor Bailey y Hawks. de las Serranías Meridionales del Estado de San Luis Potosí, México. Tesis Profesional. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Mich. 101 p.
- Bailey, D.K. y Hawksworth, F.G. 1979. Pinyons of the Chihuahuan desert region. *Phytologia* 44(3):129-133.
- Bailey, D.K. y Hawksworth, F.G. 1983. Pinaceae of the Chihuahuan desert region. *Phytologia* 53(3):227-234.
- Bailey, D.K., Snajberk, K. y Zavarín, E. 1982. On the question of natural hybridization between Pinus discolor and Pinus cembroides. *Biochemical Systematics and Ecology* 10(2): 111-119.
- Barnes, F.J. y Cunningham, G.L. 1987. Water relations and productivity in pinyon-juniper habitat types. pp 406-411. In: Proceedings Pinyon Juniper Conference. Comp. R.L. Everett. 13-16 enero de 1986, Reno, NV. General Technical Report INT-215. Ogden, UT. U.S.D.A. Forest Service, Int. Res. Sta.
- Cetnal. 1973. Carta edafológica F-14-A83. Esc. 1: 50 000. Comisión de Estudios del Territorio Nacional. SPP. México.
- Cline, R.G. y Campbell, G.S. 1976. Seasonal and diurnal water relations of selected forest species. *Ecology* 57:367-373.
- Drivas, E.P. y Everett, R.L. 1987. Xylem water potentials of singleleaf pinyon seedlings and sagebrush nurse plants. pp 428-433. In: Proceedings Pinyon Juniper Conference. Comp. R.L. Everett. 13-16 enero de 1986, Reno, NV. General Technical Report, INT-215. Ogden, UT. U.S.D.A., Forest Service, Int. Res. Sta.
- Fonteyn, P.J., McClean, T.M. y Akridge, R.E. 1985.

Xylem pressure potentials of three dominant trees of the Edwards Plateau of Texas. The Southwestern Naturalist 30(1):141-146.

Goldstein, G.H. Brubaker, L.B. y Hinckley, T.M. 1985. Water relations of white spruce (Picea glauca (Moench.) Voss) at tree line in North Central Alaska. Can. J. For. Res. 15:1080-1087.

Hellkvist, J. y Parsby J. 1976. The water relations of Pinus sylvestris. III Diurnal and seasonal patterns of water potential. Physiol. Plant 38:61-68.

Hinckley, T.M. Lassoie, J.P. y Running, S.W. 1978. Temporal and spatial variations in the water status of forest trees. Forest Science Monograph 20. 72 p.

Hsiao, T.C. 1973. Plant responses to water stress. Ann. Rev. Plant Physiol. 24:519-570.

Kozlowski, T.T. 1982. Water supply and tree growth. Part 1. Water Deficits. Forestry Abstracts 43(2):57-95.

Kramer, P.J. 1983. Water relations of plants. Academic Press, New York. 489 p.

Lopushinsky, W. 1969. Stomatal closure in conifer seedlings in response to leaf moisture stress. Bot. Gaz. 130:258-263.

Martínez, M. 1948. Los Pinos Mexicanos. Ed. Botas, México. 361 p.

Passini, M.F. 1982. Les Forests de Pinus cembroides au Mexique. Mission Archeologique et Ethnologique Française au Mexique. Editions Recherche sur les Civilisations. Paris, Francia. 373 p.

Pereira, J.S. y Kozlowski, T.T. 1976. Diurnal and seasonal changes in water balance of Abies

balsamea and Pinus resinosa. Oecologia Plantarum 11(4):397-412.

Pereira, J.S. y Kozlowski, T.T. 1977. Water relations and drought resistance of young Pinus banksiana and P. resinosa plantation trees. Can. J. For. Res. 7:132-137.

Rebolledo, V.A. 1982. Estudio preliminar sobre la ecología de los piñonares en el altiplano potosino-zacatecano. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 123 p.

Ritche, G.A. y Hinckley, T.M. 1975. The pressure chamber as an instrument for ecological research. Advances in Ecological Research 9:165-254.

Running, S.W. 1976. Environmental control of leaf water conductance in conifers. Can. J. For. Res. 6:104-112.

Rzedowski, J. 1965. Vegetación del Estado de San Luis Potosí. Acta Científica Potosí. 5:5-291.

Waring, R.H. y Cleary, B.D. 1967. Plant moisture stress: Evaluation by pressure bomb. Science 155(3767):1248-1254.

Whitehead, D. 1980. Assessment of water status in trees from measurements of stomatal conductance and water potential, N.Z.J. For. Sci. 10:159-165.

Zavarín, E. y Snajberk, K. 1985. Monoterpenoid and morphological differentiation within Pinus cembroides. Biochemical Systematics and Ecology 13(2):89-104.

Zavarín, E. y Snajberk, K. 1986. Monoterpenoid differentiation in relation to the morphology of Pinus discolor and Pinus johannis. Biochemical Systematics and Ecology 14(1):1-11.



245

# A Baseline of Soil Erosion and Vegetation Monitoring in Desert Grasslands: Chihuahua, Texas, and New Mexico<sup>1</sup>

John A. Ludwig<sup>2</sup> and William H. Moir<sup>3</sup>

---

**Abstract.**--A long-term monitoring for vegetation and soil changes in desert grasslands of the northern Chihuahuan Desert was started in 1981 as part of the USDA/SEA Anti-desertification program. Five study areas were located on the Jornada Experimental Range, Otero Mesa, and Peloncillo Mountains in New Mexico, Big Bend National Park in Texas, and Rancho La Campana in Chihuahua, Mexico. Vegetation was charted in quadrats along 30m permanent transects in these study areas. A high-precision auto-level was used to establish baseline data on the current soil-surface levels along the transects. In the future, recharting vegetation and remeasuring soil-surface level should provide data on rates of change. This data could be used to validate models designed to predict rates of soil erosion and vegetation change.

---

## INTRODUCTION

Desert grasslands of the sunbelt Southwest U.S.A. and northern Mexico are extensive along foothills bordering mountains. Near areas of swelling populations, these desert grasslands are being utilized for housing and otherwise receive pressure from livestock grazing, recreation use and military operations. There is an urgent need to monitor these desert grasslands in order to have a record of their present extent and condition for future landuse planning.

The desert grasslands that exist today are largely remnants of much more extensive grassland areas (Humphery 1958). Large areas of desert grassland have already undergone desertification, defined and recognized by the replacement of perennial grasses by desert shrubs and ephemerals. Accompanying this change in vegetation is often serious soil erosion, thus monitoring trends in desertification in desert grasslands must include methods of measuring changes in both vegetation and soil-surface level. Through funding of the USDA/SEA's Antidesertification Program, we started vegetation and soil-surface level measurements on five desert grassland study areas in 1981. Future remeasurements will provide data to evaluate trends of desertification in these desert grasslands. The extent of natural and human-caused soil erosion should be evident from the data.

---

<sup>1</sup>Paper presented at the U.S.A.-Mexico Symposium on Strategies for Classification and Management of Native Vegetation for Food Production in Arid Zones, Tucson, Arizona, October 12-16, 1987.

<sup>2</sup>John A. Ludwig is Principal Research Scientist, Division of Wildlife and Ecology, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Deniliquin, N.S.W., Australia.

<sup>3</sup>William H. Moir is Regional Ecologist, U.S.D.A. Forest Service, Southwestern Region, Albuquerque, N.M., U.S.A.

The purpose of this paper is to describe the baseline data that is available for remeasurement. We describe the details of the type of data available and the methods upon which the data is based. Although we focus our description on the La Campana study site in Chihuahua, Mexico, the same methods were used to collect the data for the other four study sites.

## STUDY AREAS

The desert grassland study sites being monitored are located (from north to south): (1) on the Jornada del Muerto Experimental Ranch in south-central New Mexico, (2) on Otero Mesa in south-east New Mexico, (3) in the Peloncillo Mountains in southwestern New Mexico, (4) in Big Bend National Park in Texas and (5) on the Rancho de La Campana in northern Chihuahua, Mexico (Fig. 1). These sites were heavily grazed by livestock late in the last century and early in this century, and in some cases more recently, but grazing is now either prohibited or strictly controlled.

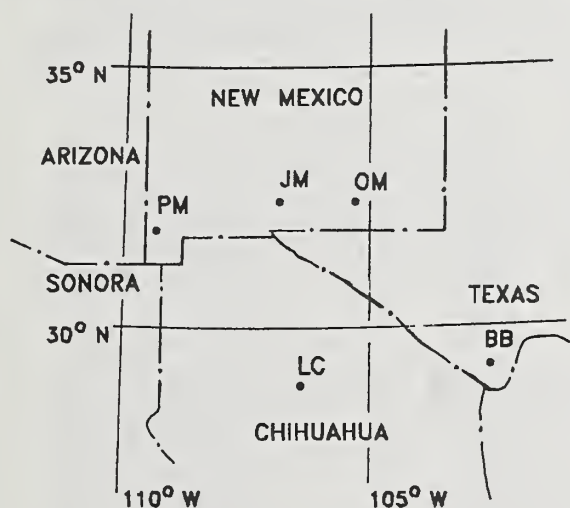


Figure 1. Location of the five desert grassland monitoring study areas (PM = Peloncillo Mountains, JM = Jornada del Muerto, OM = Otero Mesa, BB = Big Bend, and LC = La Campana).

The La Campana (LC) study area we are emphasizing is located on the slopes of a low hill (Loma La Sotolosa) on the Rancho Experimental La Campana in the State of Chihuahua, Mexico (Fig. 2). The study area is part of a series of pastures used for experiments dealing with different grazing trials. The Loma La Sotolosa pasture is grazed light to moderate on a seasonal basis (contact El Jefe, Rancho Experimental La Campana for grazing trial details on La Campana).

## PERMANENT TRANSECTS

On each study area permanent transects either 25 m, 30 m or 40 m were established roughly to the contour on slopes of varying angle and aspect. Some transects have been placed across shallow, well defined arroyos, others along more even slopes with a highly defined microtopography.

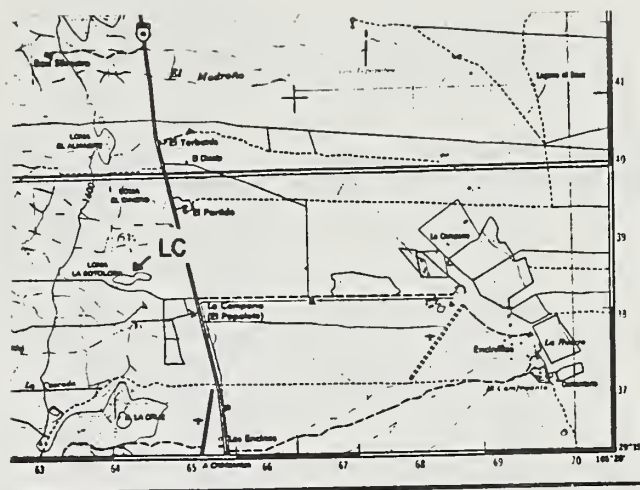


Figure 2. Location of the La Campana (LC) study area on the Rancho Experimental La Campana, Los Sauces Topographic Chart (H13C35), Chihuahua, Mexico.

Six permanent line transects were established for monitoring desertification trends in the desert grasslands on the slopes of Loma La Sotolosa (Fig. 3). The six transects vary from being on relatively gently slopes (LC-6 and LC-1) to relatively steep slopes (LC-2 to LC-5) face southeasterly (Table 1).



Figure 3. Position of the six La Campana (LC) permanent line transects on the slopes of Loma La Sotolosa.



Table 1.--Characteristics for the line transects on the Loma La Sotolosa, La Campana desert grassland monitoring study site.

TRANSECT NUMBER	ELEVATION		SLOPE %	ASPECT	
	METERS	FEET		DIRECTION	DEGREES
1	1575	5168	5	34 E of S	146
2	1580	5184	23	2 E of S	178
3	1590	5217	26	2 E of S	178
4	1600	5250	29	12 E of S	168
5	1610	5282	25	15 E of S	165
6	1570	5152	2	25 S of E	115

#### SURVEYING SOIL-SURFACE LEVEL

Near each transect a permanent benchmark was placed in bedrock. A high precision, auto-leveling surveyors transit (with a measuring accuracy of  $\pm 2$  mm over 1 km) was used to survey the surface profile at 0.5 m intervals (closer intervals were used on rough terrain) along each transect. Obtaining precise measurements between years requires that the permanent transect across the landscape must be precisely positioned each time. Steel rods about 1 m in length were driven into the soil to a depth of 75 cm (or to bedrock) in order to make the end of each line. The transect line was delimited with a high quality fiber-glass tape and was positioned as straight and as close to the soil surface as possible. The level must be positioned such that the observer is sighting exactly down or up the transect line (Fig. 4). This observer lines-up the person with the surveyors pole and records the elevation to the nearest mm. Each time a transect is measured, blind duplicate soil surface level observations were made, with a third observation made if the deviation between duplicate readings exceeded 3 mm. This procedure is particularly important if the landscape has high surface roughness as pole positioning becomes critical (e.g., on the side of a rock or stone). If the line position places the surveyors pole on the side of a steeply sloping rock, where no stable reading could be obtained, that position was discarded.

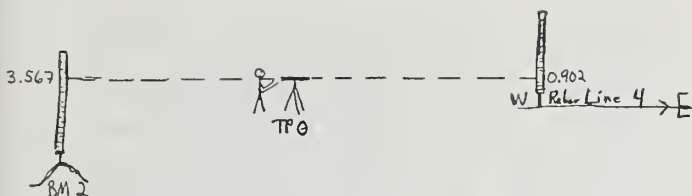


Figure 4. Diagram of the setup for surveying soil-surface levels along a permanent line transect relative to a benchmark (BM).

As an example of the type of data collected as part of the soil-surface level surveying procedure, a copy of a portion of the field form for Line 4 on the La Campana (LC) desert grassland monitoring (DGM) site is shown in Fig. 5. Elevation readings are made at 0.5 m intervals along transect line 4 relative to a benchmark (BM). Two "blind" readings are made, with a third reading taken if the difference between the first two readings is greater than 3 mm (e.g., reading at 3.5 m). The field form also shows that positions are discarded if the surveyors pole is on a sloping rock (e.g., readings at 0.5 m and 1.5 m). The elevation correction for the soil-surface along Line 4 relative to the benchmark (BM 2) is shown in Fig. 6, where the observer records the level of the benchmark and the line (west-end steel rod or rebar) from a fixed position (called a turning point, TP 0). The elevation of the soil surface along line 4 is obtained by subtracting the line readings from the benchmark reading (3.567). These "corrected" readings for the soil-surface level of Line 4 relative to benchmark 2 are listed in Fig. 7. From these readings, the soil-surface levels along the line can be plotted (Fig. 8). Note that Line 4 on the La Campana DGM site has a moderate amount of surface "roughness".

PROJECT	DATE			SITE	LINE NO.	T P	ELEVATION CORRECTION	LINE POSITION	SOIL SURFACE READINGS		
	YR	MO	DA						1st	2nd	3rd
DGM	83	10	28	LC	4	0	3.567	West End Rebar	3.567	3.567	
								0.5	0.902	0.902	
								1.0	1.390	1.393	
								1.5	Sloping Rock		
								2.0	1.269	1.268	
								2.5	1.162	1.162	
								3.0	1.210	1.209	
								3.5	1.173	1.182	1.172
								4.0	Sloping Rock		
								4.5	1.156	1.157	
								5.0	1.103	1.104	
								5.5	Sloping Rock		
								6.0	1.291	1.290	
								6.5	1.315	1.315	
								7.0	1.308	1.309	
								7.5	1.323	1.323	
								8.0	1.274	1.274	
								8.5	1.219	1.219	
								9.0	1.253	1.253	
								9.5	1.220	1.215	1.222
								10.0	1.327	1.326	
								10.5	1.180	1.180	
								11.0	1.059	1.060	
								11.5	1.203	1.203	
								12.0	1.314	1.314	
								25.0	1.070	1.070	
								25.5	1.025	1.033	1.030
								26.0	Sloping Rock		
								26.5	0.978	0.978	
								27.0	Sloping Rock		
								27.5	0.853	0.852	
								28.0	Sloping Rock		
								28.5	0.806	0.806	
								29.0	0.742	0.745	
								29.5	0.816	0.812	0.815
								30.0	0.855	0.855	
								East End Rebar	0.575	0.575	

Figure 5. An example of a portion of the field form used to record soil-surface readings at 0.5 m intervals along a transect (La Campana Line 4).



Elevation of Line 4 TP relative to Bench Mark 2 (BM2)  
= 3.567 m above the BM

Figure 6. An illustration of the measurement of the "elevation correction" for the soil-surface levels (La Campana Line 4) relative to a benchmark (BM 2) from a surveyors turning point (TP 0).

DGM	831028	LC	4	REBAR	2.665
DGM	831028	LC	4	1.0	2.176
DGM	831028	LC	4	2.0	2.299
DGM	831028	LC	4	2.5	2.405
DGM	831028	LC	4	3.0	2.358
DGM	831028	LC	4	3.5	2.395
DGM	831028	LC	4	4.5	2.411
DGM	831028	LC	4	5.0	2.464
DGM	831028	LC	4	6.0	2.277
DGM	831028	LC	4	6.5	2.252
DGM	831028	LC	4	7.0	2.259
DGM	831028	LC	4	7.5	2.244
DGM	831028	LC	4	8.0	2.293
DGM	831028	LC	4	8.5	2.348
DGM	831028	LC	4	9.0	2.314
DGM	831028	LC	4	9.5	2.346
DGM	831028	LC	4	10.0	2.241
DGM	831028	LC	4	10.5	2.387
DGM	831028	LC	4	11.0	2.508
DGM	831028	LC	4	11.5	2.364
DGM	831028	LC	4	12.0	2.253
:	:	:	:	:	:
DGM	831028	LC	4	20.0	2.460
DGM	831028	LC	4	20.5	2.475
DGM	831028	LC	4	21.0	2.500
DGM	831028	LC	4	22.0	2.420
DGM	831028	LC	4	23.0	2.542
DGM	831028	LC	4	24.0	2.506
DGM	831028	LC	4	25.0	2.497
DGM	831028	LC	4	25.5	2.536
DGM	831028	LC	4	26.5	2.589
DGM	831028	LC	4	27.5	2.715
DGM	831028	LC	4	28.5	2.761
DGM	831028	LC	4	29.0	2.824
DGM	831028	LC	4	29.5	2.752
DGM	831028	LC	4	30.0	2.712
DGM	831028	LC	4	REBAR	2.992

Figure 7. Soil-surface level readings for desert grassland monitoring (DGM) site on La Campana (LC) Line 4 made on 83/10/28 (year/month-day).

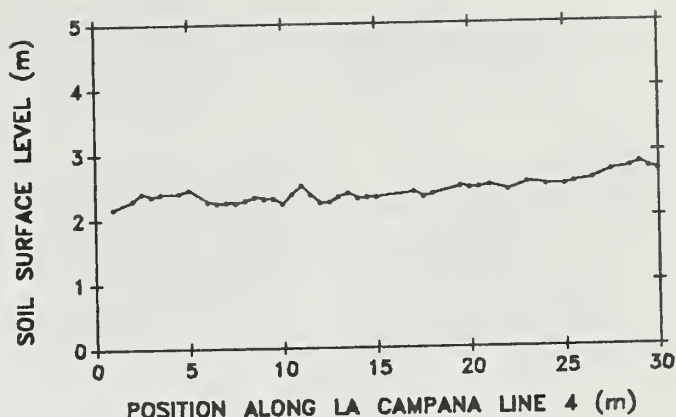


Figure 8. Plot of the soil-surface level readings along the 30 m of La Campana Line 4.

#### CHARTING VEGETATION

Plant cover of each individual was estimated and mapped by species in 0.1 m<sup>2</sup> quadrats (0.2 m by 0.5 m) at 1 m intervals along each transect. Mapping or charting was facilitated by using a field form showing each quadrat gridded into 100 squares, that is, each square represents 1 % of the area of the quadrat. An example is shown for Line 4 on the La Campana DGM site (Fig. 9). Using a gridded quadrat greatly aided later laboratory determinations of percent cover by plant species. The percent cover of basal area, litter, soil and rock were also estimated for each quadrat and noted on the field form (Fig. 9).

The field data resulting from the charting of plant canopy cover in quadrats along the permanent line transects was then computer coded for subsequent analysis. An example for Line 4 on the La Campana site is shown in Fig. 10. This computer coded data was next used to compute summary tables giving the % canopy cover of each plant species in each quadrat along each line transect of each study site. Again, an example using Line 4 on the La Campana site is given (Fig. 11). These summary table computations were accomplished by using microcomputer programs written in FORTRAN.

[Note, that all field and coding forms used for later computer entry used the first 16 columns to uniquely identify each dataset (e.g., Figs. 5, 7 & 10). Thus, each data form and each line of data in the computer was uniquely identified as to project (DGM = desert grassland monitoring), collection date (year/month/day), study site (e.g., LC = La Campana) and line transect (e.g., Line 4). This coding greatly facilitated subsequent data analyses.]



# DESERT GRASSLAND MONITORING PROJECT - VEGETATION

SITE 1A CAMPAÑA TRANSECT #4 DATE 5/28/82  
(Remapped 11/11/82)

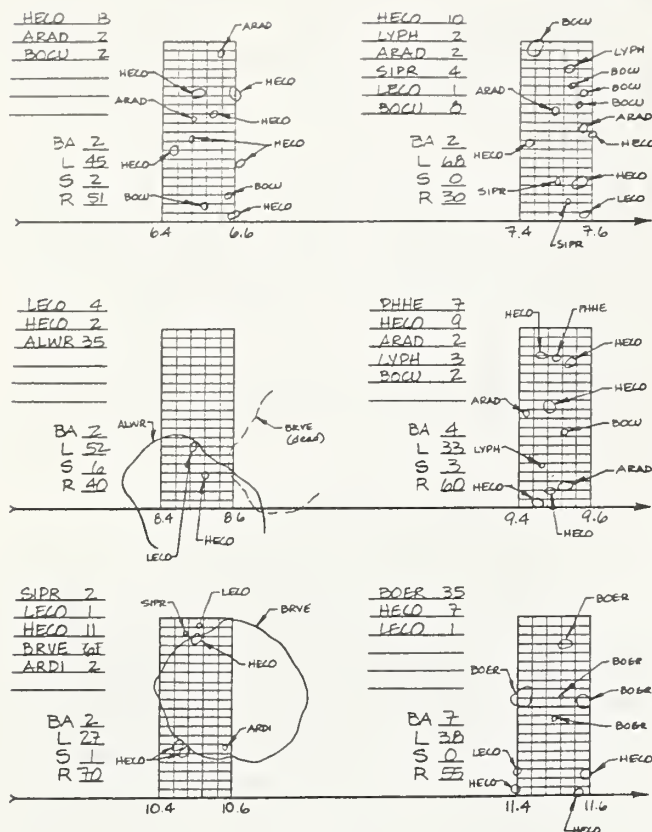


Figure 9. An example of the field form used for charting the canopy cover of plant species along La Campana Line 4. Individuals of each species (four-letter codes) are charted within the 0.2 x 0.5 m quadrat and percent cover for basal area (BA), litter (L), bare soil (S) and exposed rock (R) are estimated.

The plant species cover data was analyzed to examine vegetation structure by classifying the species in terms of: (1) type of photosynthesis, i.e., C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>, or CAM, (2) life history, i.e., annual, biennial or perennial and (3) growth form, i.e., grass, forb, sub-shrub, shrub, tree, leaf-succulent or stem-succulent. The 54 combinations of these three attributes were referred to as "life forms". We examined 18 lifeform patterns across each transect. In general, those transects with greater microtopographic variability had greater lifeform heterogeneity. For example, transects positioned across slopes with drainages and "rough" surfaces, had a greater variety of lifeforms than transects positioned across more gentle, uniform slopes. However, we found it difficult to interpret vegetation-microtopography relationships. Perhaps, remeasurements in the future may help resolve these dynamic patterns.

DGM 821111 LC 4 5 4 31 0 65 30AWE 6180BA 8HECO 6
DGM 821111 LC 4 15 3 37 0 60 2HECO 980BA 1
DGM 821111 LC 4 25 2 33 5 60 380BA 2HECO 12PHHE TR
DGM 821111 LC 4 35 4 65 1 30 5PHHE 1HECO 1480BA 28UJU 5BOCU 1
DGM 821111 LC 4 45 4 24 2 70 4HECO 17PHHE 28UJU 18OCU 6
DGM 821111 LC 4 55 3 36 1 60 4HECO 980BA 4BOCH 3BOCU 2
DGM 821111 LC 4 65 2 45 2 51 3HECO 13ARAD 2BOCU 2
DGM 821111 LC 4 75 2 68 0 30 6HECO 10LYPH 2ARAD 2SIPR 4LECO 1BOCU 8
DGM 821111 LC 4 85 2 52 6 40 3HECO 4HECO 2ALWR 35
DGM 821111 LC 4 95 4 33 3 60 5PHHE 7HECO 9ARAD 2LYPH 3BOCU 2
DGM 821111 LC 4 105 2 27 1 70 5SIPR 2LECO 1HECO 11BRVE 6IARDI 2
DGM 821111 LC 4 115 7 38 0 55 380BR 35HECO 7LECO 1
DGM 821111 LC 4 125 3 62 0 35 6HECO 8LECO 2ARAD 1LYPH 20AWR 20YDE 1
DGM 821111 LC 4 135 3 47 5 45 3ARDI 1HECO 8SIPR 2
DGM 821111 LC 4 145 1 49 5 45 5HECO 4ARDI 8ARAD 1PAHA TRENNU 4
DGM 821111 LC 4 155 2 21 2 75 4ARDI 3HECO 6LECO 4UJU 2
DGM 821111 LC 4 165 3 20 0 77 4TEST 20BOCU 6SIPR 1LYPH 5
DGM 821111 LC 4 175 4 26 0 70 4LYPH 13HECO 7BOCU 4SIPR 1
DGM 821111 LC 4 185 6 19 0 75 3HECO 4LYPH 7BOCU 2
DGM 821111 LC 4 195 3 25 2 70 6BOCU 3CRPO 3UJU 1LYPH 8HECO 5BRVE 10
DGM 821111 LC 4 205 3 27 0 70 3HECO 2YDE 1LYPH 3
DGM 821111 LC 4 215 2 33 0 65 48NUU 1SIPR 4LYPH 6BOHI 5
DGM 821111 LC 4 225 2 20 3 75 5HECO 28UJU 2LYPH 6LECO 2BOHI 2
DGM 821111 LC 4 235 4 25 1 70 6BRVE 18UJU 1LYPH 9ASSP 1CRPO 3HECO 7
DGM 821111 LC 4 245 2 40 3 55 6HECO 5LECO 3LYPH 2BRVE 80YDE 3SIPR 2
DGM 821111 LC 4 255 4 34 2 60 5HECO 15LECO 3PHHE 2SIPR 20YDE 1
DGM 821111 LC 4 265 7 26 2 65 3HECO 8LECO 3SIPR 1
DGM 821111 LC 4 275 5 25 5 65 4HECO 12BOCU 4ARDI 3BRSP 25
DGM 821111 LC 4 285 6 38 1 55 5HECO 10BOCU 1LECO 3LYPH 2SIPR 2
DGM 821111 LC 4 295 3 25 2 70 5HECO 8BOCU 3BOHI 2LECO 18NUU 3

Figure 10. An example of the computer coded plant species canopy cover data for the 30 quadrats located at 1 m intervals (beginning at .5 m and ending at 29.5 m) along Line 4 of the La Campana site.

## DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Permanent transects are now in place at five sites in the northern Chihuahuan desert (Fig. 1). Each transect represents a baseline measurement of soil-surface level and perennial plant cover taken in 1982, 1983, or 1984. With remeasurement of these permanent line transects after ten or twenty years (or longer), the trends and rates of change in vegetation (succession) or soil-surface level (erosion or deposition) should be evident (Ludwig 1985). As some transects are located on sites being protected from livestock grazing, while others are on sites with controlled grazing, the contribution of grazing to the rates of natural soil erosion might be evident.

In order to resolve differences in soil-surface level after, say after 10 or 20 years, remeasurement of the soil-surface level will have to be done very accurately, that is, a technique is needed which ensures remeasurement of exactly the same points along each transect. We recommend that future measurements be made by "line-of-sight" alignment of the "pole-person". The surveyors auto-level should be aimed directly down the line to position the surveying pole on the line before taking a elevation reading. This might be most accurately accomplished with a laser beam as presently used in other types of surveying, but our results suggest that careful and patient "team-work" between the surveyor and the pole-person can produce highly accurate and repeatable results. Of course, the steel-rods marking the ends of the transects must be truly permanent. And, the closer the benchmark is to the transect, the better the measurement precision is to the benchmark (needed as a reference for the soil-surface levels).

SPECIES	QUADRAT																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
ALAYSIA WRIGHTII										35																					
ARISTIDA ADSCENIONIS							2	2		2			1		1																
ARISTIDA DIVARICATA											2			1	8	3												3			
ASTRAGALUS SPECIES																								1							
BOTHRIOCHLOA BARBINODES	8	1	2	2		4																									
BOUTELOUA CHONDROSOIDES						3																									
BOUTELOUA CURTIPENDULA					1	6	2	2	8		2						6	4	2	3								4	1	3	
BOUTELOUA ERIPODA												35																			
BOUTELOUA HIRSUTA																						5	2							2	
BRICKELLIA SPINULOSA																												25			
BRICKELLIA VERONICAEFOLIA											61									10				1	80						
BULBOSTYLIS JUNCOIDES					5	1										2				1			2	1							
CROTON POTTSII																					3			3							
DALEA WRIGHTII													2																		
DASYLIRION WHEELERI	61																														
DYSCHORISTE DECUMBENS														1							1				3	1					
ENVOLVULUS NUTALLIANUS															4								1								3
HELIOTROPIMUM CONVULVULACEUM	6	9	12	14	17	9	13	10	2	9	11	7	8	8	4	6		7	4	5	2			2	7	5	15	8	12	10	8
LEPTOLOMA COGNATUM									1	4		1	1	2		4								2		3	3	3		3	1
LYCURUS PHLEOIDES									2		3			2				5	13	7	8	3	6	6	9	2				2	
PANICUM HALLII																TR															
PHASEOLUS HETEROPHYLLA				TR	1	2					7																	2			
SIDA PROCUMBENS									4			2			2			1	1			4			2	2	1		2		
TECOMA STANS																															

Figure 11. An example of the summary table for plant species canopy cover in the 30 quadrats along Line 4 of the La Campana site.

Along each transect, the canopy cover of each species was also charted. Future recharting of the vegetation will provide data on trends of desertification, that is, changes in plant composition from perennial grasses to shrubs and ephemerals. Such changes have already occurred in much of the northern Chihuahuan Desert (Branscomb 1958, Buffington and Herbel 1965, Gardner 1951, Glendening 1952, Herbel et al. 1972, York and Dick-Peddie 1969).

A description of the desert grassland monitoring project, its methods and the baseline data for each site is available from the following individuals representing the given site:

Peloncillo Mountains site:

Dr. and Mrs. Robert T. Scholes, Managers  
BioResearch Ranch  
Box 117  
Rodeo, New Mexico 88056

Otero Mesa site:

Kevin Von Finger, Environmental Officer  
DSAE Environmental Office  
Comdr. USAADCEN 7 Ft Bliss  
Fort Bliss, Texas 79916

Jornada del Muerto site:

Dr. Reldon Beck, Head,  
Department of Animal and Range Sciences  
New Mexico State University  
Las Cruces, New Mexico 88003



La Campana site:

Ing. Sergio Soltero G., Head  
Rancho Experimental La Campana  
KM 1746 Carr. PanAmericana  
APDO. Postal 682  
Chihuahua, Chihuahua  
Mexico

Big Bend site:

Mike Fleming, Resource Management Specialist  
U.S.D.I./National Park Service  
Big Bend National Park  
Big Bend, Texas 79834

ACKNOWLEDGEMENTS

We express special thanks those who provided us access to their truly outstanding desert grasslands, particularly Bob and Katie Scholes, the BioResearch Ranch, Peloncillo Mountains, Mike Fleming, Big Bend National Park, Kevin Von Finger, US Army, Otero Mesa, and Sergio Soltero, El Jefe, Rancho La Campana. The field work would have been far more difficult and less enjoyable without the excellent assistance of Steve Wondzell, Joe Cornelius, Ron Neilson, Mateo Giner, Graciela Melgoza, and Sandra Cleisz.

REFERENCES

- Branscomb, B. L. 1958. Shrub invasion of a southern New Mexico desert grassland range. *Journal of Range Management* 11:129-132.
- Buffington, L. C. and C. H. Herbel. 1965. Vegetational changes on a semidesert grassland range from 1858 to 1963. *Ecological Monographs* 35:139-164.
- Gardner, J. L. 1951. Vegetation of the creosote-bush area of the Rio Grande Valley in New Mexico. *Ecological Monographs* 21:379-403.
- Glendening, G. E. 1952. Some quantitative data on increase of mesquite and cactus on a desert grassland range in southern Arizona. *Ecology* 33:319-328.
- Herbel, C. H., F. N. Ares and R. A. Wright. 1972. Drought effects on a semidesert grassland range. *Ecology* 53:1084-1093.
- Humphrey, R. R. 1958. The desert grassland. *Botanical Reviews* 24:192-252.
- Ludwig, J. A. 1985. Microcomputer simulation of soil erosion in desert grasslands. pp. 149-152. In: R. G. Lavery (ed.) *Modeling and Simulation on Microcomputers*. The Society for Computer Simulation, La Jolla, California 174 p.
- Moir, W. H. 1979. Soil-vegetation patterns in the central Peloncillo Mountains, New Mexico. *American Midland Naturalist* 102:317-331.
- York, J. C. and W. A. Dick-Peddie. 1969. Vegetational changes in southern New Mexico during the past hundred years. pp. 156-166. In: W. G. McGinnies and B. J. Goldman (eds.) *Arid Lands in Perspective*, University of Arizona Press, Tucson. 421 p.

245

# Design and Operation of a Water-Harvesting Agrisystem<sup>1</sup>

Martin M. Karpiscak, Kenneth F. Foster, and R. Leslie Rawles<sup>2</sup>

---

A water harvesting agrisystem for growing crops on retired irrigated farmland was developed. The soil surface was shaped and after shaping, sodium chloride was raked into surface and the catchments were compacted. Plants such as eucalyptus, Mondell and Aleppo pines, Arizona cypress, peaches, apples, apricots and saltbush have been successfully grown.

---

## INTRODUCTION

The rising cost of pumping, increased competition for water, and legal restrictions on its use have caused farmland to be retired from irrigated agricultural production in Arizona. In Pima County the City of Tucson has purchased nearly 9,000 hectares and almost all the remaining 10,000 hectares are projected to be idled by the year 2020 in large part due to the 1980 Groundwater Law. This law encourages the retirement of irrigated farmland so that the groundwater may be transferred to municipal or industrial use (Karpiscak et al., 1981; Wright, Taylor and Foster, 1985). Although other cities, such as Phoenix, and mines in the western United States are purchasing and retiring farmland, the City of Tucson is one of the largest owners of retired farmland in the county.

Retired farmland in arid and semi-arid areas presents both a problem from the standpoint of revegetation as well as an opportunity as an untapped economic resource. Russian thistle (*Salsola kali*) quickly becomes established on fallowed fields, particularly in the spring. These plants mature in the fall and upon senescence are blown into neighboring farms and roadways causing considerable management problems (Karpiscak, 1979).

The heavy clay soil of some semiarid ecosystems such as those in Avra Valley have a tendency

to form surface crust which prevent moisture penetration. Therefore, once these areas have been disturbed and abandoned they do not revert to stable desert plant communities without considerable passage of time, if at all, and weeds, dust and erosion become problems.

Dryland farming has been practiced in many of the world's arid areas for thousands of years. In the Negev Desert of Israel, over 2,000 years ago, the Israelites captured rainwater and directed it to their cultivated areas (Evenari et al., 1971). In Arizona, Native Americans developed highly site-specific floodwater farming techniques (Nabhan et al., 1980). Today in states such as Texas and California dryland farming is practiced and is predicted to increase as water tables decline (Luebs, 1970; Mulkey et al., 1985).

## CONSTRUCTION

The Water Harvesting Agrisystem is located within the Upper Santa Cruz Sub-basin in Avra Valley, Arizona now owned by the City of Tucson. This area is only 30 km from this rapidly growing city.

The average annual rainfall reported for Avra Valley does not exceed 250 mm. The rainfall is about evenly divided between two rainy seasons (winter and summer).

## SITE SELECTION

Site selection is a critical factor in the success of a water harvesting agrisystem (Shanan and Tadmor, 1979; Matlock and Dutt, 1984). Soils in arid and semiarid regions should be deep to provide soil storage of water directly in the crop area. Soils also should have a clay content greater than 20 percent. In the areas selected for catchment construction, the fine-textured soil should be close to the surface

---

<sup>1</sup>Paper presented U.S.A.-Mexico Symposium on Strategies for Classification and Management of Native Vegetation for Food Production in Arid Zones, Tucson, Arizona, October 12-16, 1987.

<sup>2</sup>Research Scientist, Director, and Research Assistant, Office of Arid Lands Studies, College of Agriculture, University of Arizona, Tucson, Arizona, respectively.



(grading or plowing could then be used to expose the clay). In the planting areas clay soil is needed to provide adequate soil-moisture storage for the plants being grown.

The site should be fairly level and slopes should not exceed 8 percent to minimize problems associated with erosion from intense rainfall (Shanan and Tadmor, 1979; Frazier, 1981).

#### CATCHMENT CONFIGURATION

The land surface was shaped by use of a road grader or a combination of disking and plowing. The 16 catchments are V-shaped and cover about 1.6 ha. A standard length of 100 m and a slope of 0.5 percent was used. Catchment widths vary from 6 m to 8 m. The sides of the catchments were treated with 5,000 kg/ha NaCl and compacted with a roller-compactor (Dutt et al., 1983). Untreated planting areas (1.25 m) were situated at the bottom of the V-shaped catchments. Thus rainfall from the treated and compacted areas drains toward the plants. Excess runoff flows down the planting areas into a collecting channel and into a shallow sump.

#### RESERVOIRS AND IRRIGATION SYSTEM

The combined design capacity for the 2 gravity-fed sumps and the main storage reservoir is approximately 2,400 m<sup>3</sup> of water. The main reservoir and sump were treated with NaCl to decrease seepage. The main reservoir is also covered with 250,000 plastic film cans to decrease evaporation.

The irrigation system consists of a 6,000 W centrifugal pump, an 8 cm PVC pipeline connecting the sump and reservoir to the pump, a 5 cm PVC pipeline connecting the pump to the field plots, and 2 cm polyethylene driplines equipped with 0.01 m<sup>3</sup> or 0.02 m<sup>3</sup> per hour drip emitters (Reed Model E-2 and E-4). The system permits movement of water from sump to reservoir and from either the sump or reservoir to the field. Screens on the input ends of the 8 cm pipeline help prevent foreign material such as weeds from entering the system, and a fine mesh filter is installed in front of the water meter. Polyethylene driplines are attached to gate valves at the head of each catchment and removable screw caps at the ends of the PVC lines facilitate cleaning of the system.

#### OPERATION

Operation and monitoring of the water harvesting agrisystem is continuing. Reservoir water levels, evaporation rates, water quality, rate of plant growth, percent survival and other parameters are being studied.

The irrigation system and stored water are utilized primarily to maintain recently transplanted seedlings. If sufficient water is available in the reservoirs, supplemental irrigation

of established plants is utilized to stimulate growth.

#### Rainfall

The annual rainfall for the agrisystem has varied from 207 mm to 578 mm for the period October 1982 through September 1987 (Table 1). The low rainfall of 1987 demonstrated the importance of water storage to insure the survival of plants during times of drought. During the 6-month period from March 1987 through August 1987 a total of only 47 mm of rainfall was recorded.

Table 1.--Rainfall recorded at the Avra Valley water harvesting agrisystem

Water Year <sup>1</sup>	mm	Inch
1983	317	12.49
1984	578	22.76
1985	280	11.02
1986	237	9.34
1987	207	8.16

<sup>1</sup>Water Year = October 1 - September 30.

#### Reservoir Water Storage

Water levels of the reservoir are measured weekly and storage volumes determined. The arid foresummer typically is the period when storage volumes are lowest and the peak volumes occur during the winter rainy season.

Table 2.--Total reservoir storage volumes

	Jan (m <sup>3</sup> )	April (m <sup>3</sup> )	July (m <sup>3</sup> )	Oct (m <sup>3</sup> )
1982	--	--	--	745
1983	869	1002	394	1048
1984	810	683	431	911
1985	898	818	438	500
1986	714	931	562	825
1987	752	889	538	423

#### Evaporation Control

A major problem of reservoirs in arid areas is evaporation during long-term storage (Cluff, 1981). Evaporation losses in storage reservoirs are difficult to control. Generally, there are four approaches for evaporation suppression: 1) reducing the water surface area; 2) decreasing the wind velocity directly over the reservoir; 3) decreasing the input of solar energy that penetrates the water surface; or 4) covering the reservoir with some impermeable barrier.

Black plastic film cans were obtained from Eastman Kodak Corporation. These cans measure 30 mm in diameter by 50 mm in length; therefore, approximately 480 plastic cans were needed to cover one square meter. The cost per square meter was about \$5.20.

These black plastic film cans have resisted the destructive effects of ultraviolet radiation and they do not appear to leak. They appear to be effective in reducing wave action and are self-adjusting to changes in water levels. Visual evaluation has revealed little if any degradation after 4.5 years. These results correspond with an earlier report on black balls, 45 mm in diameter, made with polyethylene and a 2 to 5 percent admixture of carbon black. The balls were used to reduce odors emanating from noxious liquids (Anonymous, 1972).

The black plastic film cans reduced evaporation by an average of 51 percent (Table 3).

Table 3 .--Annual evaporation from open and covered pans

Water Year <sup>1</sup>	Open (mm)	Covered (mm)	Percent Decrease
1984 <sup>2</sup>	3331	1512	54.6
1985	3966	2183	45.0
1986	3820	1768	53.7
1987	3890	1859	52.2

<sup>1</sup>Water Year=October 1 - September 30

<sup>2</sup>Covers a period of about 11 months

#### Plant Growth

Species planted at the agrisystem have included both annual and perennial species. Initial evaluation of annual species such as corn and watermelon indicated that these species could be successfully grown. However, the lack of fencing to protect plants from livestock as well as wildlife and the additional labor required to maintain annuals made it difficult to continue planting these species.

Planting of perennial trees and shrubs have proven successful with some exceptions. Jojoba (*Simmondsia chinensis*) failed to survive the heavy soils and below freezing temperatures found at the agrisystem. Grapes were established but browsing by wildlife proved too heavy and impossible to overcome.

Peach, apple and apricot seedlings have been successfully established. The major problem in maintaining these fruit trees has been browsing by deer and cattle. Deer have been repelled by use of the fertilizer blood meal. Cattle continue to be an intermittent but highly destructive problem.

*Eucalyptus microtheca* seedlings were transplanted to the field in 1982 and irrigated by

dripline for the first year. After the first year the only water provided the plants was that which was concentrated by the catchment. The average tree height after 5 years was 3.8 m (Table 4).

Table 4.--Average tree height for Mondell Pine, Arizona Cypress and Eucalyptus

	Mondell Pine (30 plants)	Arizona Cypress (41 plants)	Eucalyptus (28 plants)
Sep 82	293	377	
Nov 82			622
Apr 83	347	534	
Nov 84	1351	1692	2135
Nov 85	1879	1986	3141
Nov 86	2206	2118	
Dec 86			3843
Oct 87	2541	2277	

Mondell Pine (*Pinus eldarica*) seedlings have reached an average height of 2.5 m after 5 years of growth. Supplemental irrigation following the first year of irrigation has only been required on a monthly basis during the summer. Only 1 tree has died from disease; however, numerous individuals have been lost from flooding during October 1983 and unauthorized removal.

Arizona Cypress (*Cupressus arizonica*) plants appear to be more tolerant of stress and have been easier to establish as seedlings than the Mondell Pines. They form dense canopies and provide a good wind break. Table 4 shows the growth of Arizona Cypress as recorded at the agrisystem.

Other perennial species such as guayule (*Parthenium argentatum*) and saltbush (*Atriplex canescens*) have also required little if any additional irrigation.

Evaluation of the agrisystem indicates that the salt-treated compacted earth water harvesting system is a technical success. Water harvesting techniques and selection of appropriate arid adapted species may provide a means to stimulate the revegetation of retired groundwater irrigated farmlands.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

The water harvesting agrisystem was developed on retired farmland by the University of Arizona's Soils, Water and Engineering Department and the Office of Arid Lands Studies (both within the College of Agriculture) with support provided by the City of Tucson Real Estate Division and cooperation from the Tucson Plant Materials Center of the Soil Conservation Service.



# LITERATURE CITED

- Anonymous. 1972. New black allphas balls for floating blankets. Water and Engineering 76(919):341.
- Cluff, C. B. 1981. Surface storage for water harvesting agrisystems. In G. R. Dutt, C. F. Hutchinson, and M. Anaya Garduno, eds., Rainfall Collection for Agriculture in Arid and Semiarid Regions. Proceedings of a workshop hosted by the University of Arizona, USA, and the Chapingo Postgraduate College, Mexico. Commonwealth Agricultural Bureaux. pp. 23-30.
- Dutt, G. R., C. D. Sands, M. M. Karpiscak, K. E. Foster, and R. L. Rawles. Water harvesting agrisystem: An alternative to the use of agricultural groundwater in the Avra Valley area, Arizona. A Final Report to the City of Tucson Real Estate Division, Contract No. 0423-82. University of Arizona. 44 p.
- Evenari, M., L. Shanan, L. Tadmor, and Y. Aharoni. 1961. Ancient Agriculture in the Negev. Science 133:979-996.
- Frazier, G. W. 1981. Water for animals, man, and agriculture by water harvesting. In G. R. Dutt, C. F. Hutchinson, and M. Anaya Garduno, eds., Rainfall Collection for Agriculture in Arid and Semiarid Regions. Proceedings of a workshop hosted by the University of Arizona, USA, and the Chapirgo Postgraduate College, Mexico. Commonwealth Agricultural Bureau. pp. 83-86.
- Karpiscak, M. M. and O. M. Grosz. 1979. Dissemination Trials of Russian Thistle (*Salsola kali* L.) in recently fallowed fields. Journal Arizona-Nevada Academy of Science 14:50-52.
- Karpiscak, M. M., K. E. Foster, C. B. Cluff, K. J. DeCook, and F. Matter. 1981. Alternative Use Plan for City of Tucson Land, Avra Valley, Arizona. Office of Arid Lands Studies, Water Resources Research Center and College of Agriculture, University of Arizona, Tucson, Arizona.
- Luebs, R. E. 1970. Dryland Agriculture in California...Grain Cropping with Winter Rainfall. California Agriculture 24:12-13.
- Matlock, W. G. and G. R. Dutt. 1984. A primer on water harvesting and runoff farming. Irrigation and Water Management Institute, College of Agriculture, University of Arizona, Tucson, Arizona.
- Mulkey, J. R., Jr., J. Drawe, and E. L. Albach. 1985. Dryland Sorghum Response to Plant Population and Row Spacing in Southwest Texas. Texas Agricultural Experiment Station PR-4294.
- Nabhan, G., J. Berry, C. Anson, and C. Weber. 1980. Papago Indian floodwater fields and tepary bean protein yields. Ecology of Food and Nutrition 10:71-78.
- Shanan, L. and N. H. Tadmor. 1979. Micro-catchment systems for arid zone development: A handbook for design and construction. Center of International Agricultural Cooperation, Hebrew University, Jerusalem. 73 pp.
- Wright, N. G., J. G. Taylor and K. E. Foster. 1985. Alternatives to Desertification in Arid Lands Agriculture: The Economic Feasibility of New Arid-Adapted Crops. Office of Arid Lands Studies, College of Agriculture, University of Arizona, Tucson, Arizona.

# MANEJO INTEGRADO DE LA CUENCA HIDROLOGICA

## "EL PLATEADO"<sup>1</sup>

Ramón Claverán A., Carlos Sánchez B., Susana Paulín W., y Abraham de Alba A.<sup>2</sup>

Resumen.--Este trabajo se estableció para resolver los problemas de desertificación, utilizando una cuenca hidrológica para estudiar los bancos, flujos y tasas de intercambio de la energía, agua y nutrimentos. Se contempla la investigación integral del hombre en sus interrelaciones con el medio que permitirá una aplicación universal de la tecnología generada.

### INTRODUCCION

La preocupación por los procesos erosivos, y en especial el de desertificación, si bien han sido reconocidos académicamente desde la creación de las ciencias del suelo, no alcanzó una concientización mundial, sino hasta el dramatismo de los sucesos de el Sahel en 1973.

Con base en estos sucesos, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) organizó una reunión en Nairobi, Kenia en 1977; de esta reunión se desprendió la preocupación de México por comenzar a estructurar investigación específica para prevenir y conocer los procesos que se involucran en la desertificación. Esta se entiende como el proceso de disminución progresiva en la productividad biológica, causada por la interacción de los cambios biogeoclimáticos que controlan el ecosistema y el manejo inadecuado que el hombre hace de dichos ecosistemas.

El Comité para Prevenir y Combatir la Desertificación en México, quedó estructurado en 1979, y lo conformaron varias dependencias de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. En el planteamiento que hizo el Comité, se consideró indispensable el establecimiento de áreas piloto para investigación que fueran representativas de los ecosistemas sujetos a la desertificación. Es así como se identificó la Cuenca Hidrológica de "El Plateado" en la zona de Los Cañones en el estado de Zacatecas, como una de estas áreas.

<sup>1</sup>Ponencia presentada en la Reunión Estrategias de Clasificación y Manejo de Vegetación Silvestre para la Producción de Alimentos en Zonas Áridas. [Tucson, Arizona, 12-16 de Octubre de 1987].

<sup>2</sup>Ramón Claverán A. vocal ejecutivo zona centro, [INIFAP-SARH, México], Carlos Sánchez B. subdirector CIFAP-Zacatecas, Calera de V.R. Susana Paulín W. líder Proyecto El Plateado, 1983-86, CEDEC, Jalpa. Abraham de Alba A. líder Proyecto El Plateado 1986-, CEDEC, Jalpa.

La Cuenca Hidrológica, como unidad integradora de los recursos naturales, es útil en términos del enfoque de sistemas, para evaluar los efectos debidos a la intervención de la mano del hombre en el uso de los recursos naturales renovables. Procesos de importancia trascendental como es la desertificación, podrán ser evaluados al conocer indicadores de tipo biológico y social, que indiquen la tasa de cambio en el proceso de desertificación.

El uso que se le da a los recursos naturales de una cuenca hidrológica se verá reflejado en los componentes del ciclo hidrológico, ya que el agua es el factor que limita en ecosistemas áridos y semiáridos (Noy-Meir 1974). El involucrar al hombre en el entendimiento del balance hidrológico de una cuenca hidrológica, pone de manifiesto la escasez de metodologías que permitan cuantificar las verdaderas causas de lo que está sucediendo en un sistema complejo, donde se incluye la toma de decisiones del productor usuario de los recursos de la cuenca hidrológica.

El proyecto plantea como característica indispensable e inseparable de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas las actividades del hombre, de esta forma visualizamos como objetivos: 1) desarrollar una metodología de investigación en manejo integrado de cuencas hidrológicas extrapolable a otras cuencas del país y 2) prevenir y combatir la desertificación, y lograr una producción máxima aprovechable y sostenida, lo anterior sin detrimento del medio físico y biológico, de los sistemas forestales, agrícolas y pecuarios, mediante una concepción integral de investigación, desarrollo técnico y socioeconómico de los habitantes.

Estos objetivos contemplan tres acciones específicas: 1) realizar una investigación de tipo integral, 2) utilizar los componentes del ciclo hidrológico como indicadores de los cambios en el uso de los recursos renovables y 3) evaluar la participación del hombre en la modificación de los bancos, flujos y tasas de intercambio de la energía, agua y nutrimentos.



De esta forma, se consideran como metas del proyecto: 1) obtener información básica de los elementos agua, suelo, planta, animal y socioeconómico, para el entorno específico de la cuenca y 2) implementar líneas aplicadas dentro de dichos elementos para resolver los objetivos a través de la estructuración, desarrollo y evaluación de sistemas de producción agrícola, ganadera y forestal, usando el conocimiento tradicional, así como introducción de tecnología y germoplasma

## MATERIALES Y METODOS

### El medio físico-biológico

El área seleccionada se localiza en el Norte-Centro de México, en el estado de Zacatecas, tiene una superficie de 17,960 ha, ubicada entre los paralelos 21° 48' y 21° 57' N y los meridianos 102° 55' y 103° 09' W, comprende parte de cuatro municipios que es la unidad de división política en México. El parteaguas se encuentra en la Sierra de Morones a 1,640 msnm y el terreno desciende hasta llegar a 1,480 msnm en el lecho del Río Juchipila. La zona forma parte de la cuenca Lerma-Santiago que desagua al Océano Pacífico.

En la parte baja de la cuenca domina el clima semiseco, semicálido BS<sub>1</sub>hW(W) (Koppen modificado por García 1973), caracterizado por lluvias en verano con un porcentaje de precipitación invernal menor de 5. La precipitación media anual fluctúa entre 350 y 800 mm, y la temperatura media anual oscila entre 18 y 22°C. La máxima incidencia de lluvias se presenta en julio con un rango de 110 a 120 mm. La temperatura máxima se registra en junio con un valor entre 25 y 26°C y la mínima se presenta en enero, que es de 16 a 17°C. En la parte baja de la cuenca, las pendientes son menores de 6%, los suelos profundos de origen aluvial y coluvial, clasificados como clase II.

En la parte media de la cuenca, la topografía es ondulada, su material geológico es ígneo y sedimentario. Los suelos son delgados a profundos, de textura media y formación in situ.

El matorral subtropical se localiza en las partes media y baja de la cuenca. Las especies dominantes de este tipo de vegetación son de los géneros: Bursera, Ipomoea, Myrtillocactus, Cathescum, Bothriochloa, Eysenhardtia, Acacia, Prosopis y Mimosa, estas últimas tres como indicadoras del disturbio presente en esta área.

La parte alta de la cuenca hidrológica comprende las estribaciones de la sierra, el clima es templado subhúmedo, C (W<sub>0</sub>) (W), con lluvias en verano y porcentaje de lluvia invernal menor de 5%. La precipitación media anual varía entre 600 y 800 mm, la máxima ocurrencia de lluvia se registra en junio con un valor de 170 a 180 mm. La temperatura máxima fluctúa entre 19 y 20°C en junio y la mínima se registra en enero, con un valor entre 11 y 12°C, la frecuencia de heladas fluctúa de 10 a 40 días al año. La pendiente varía de 3 a 12%. El

material geológico es ígneo y los suelos son de textura media a fina.

En general, en la cuenca hidrológica un 62% del área son suelos del tipo regosol y un 26% son castañozem (FAO modificado por CETENAL 1970).

El bosque esclerófilo caducifolio se localiza en la parte alta de la cuenca, los géneros dominantes son: Quercus, Arbutus, Arctostaphylos y Pinus. El pastizal mediano con encino se encuentra ubicado en los límites con el bosque esclerófilo en la parte media de la cuenca. Dominan especies de los géneros Quercus, Bouteloua, Muhlenbergia, Stipa, Aristida y Cathestecum.

La región donde se ubica el proyecto, tiene un alto índice de crecimiento. El apoyo económico en la zona está dado, en parte por BANRURAL, pero un apoyo considerable se da en función de los dólares que ingresan por concepto de remuneraciones por trabajo de algunos miembros de las familias en el extranjero. Es importante señalar que existe un movimiento migratorio a Estados Unidos del 80% y hacia el interior del país de un 8% de la población activa. El 94% de los habitantes son pequeños propietarios y el resto son ejidatarios. La población aproximada de la cuenca es de 2,500 habitantes, de los cuales 495 son productores organizados en 300 familias. La densidad de población es de 13.9 habitantes/km<sup>2</sup>. La población económicamente activa es de aproximadamente el 20%.

### Metodología

La solución al problema de la desertificación implica por lo tanto, el análisis de las relaciones causa-efecto de todos los fenómenos observados a lo largo de la cadena, hasta definir las causas más susceptibles de ser modificadas y enfocar ahí los esfuerzos. Para esto se requiere de la visión global que resulta de la participación de diversos especialistas en un grupo multidisciplinario con un enfoque de investigación integral.

Por esta razón, se estructuraron cuatro proyectos de investigación que cubren todos los aspectos que afectan o se ven afectados por la desertificación. Cada proyecto se compone de varios subproyectos que fueron definidos en la etapa preliminar del programa, una vez elaborado el Marco de Referencia e identificados los problemas principales del área. Cabe aclarar que este planteamiento inicial fue la primera aproximación y ha evolucionado a lo largo del desarrollo del programa, obviamente está sujeto a nuevas modificaciones en caso de que así se requiera, no se concibe un programa estático de este tipo.

La estructura de investigación del programa contempla un enfoque macro y un micro, en un primer plano, utilizando la subdivisión natural hidrológica de la cuenca; se establecieron tres cuencas parcialmente instrumentadas representando los usos del suelo más comunes en esas macrocuencas. De tal manera, se tiene una cuenca forestal (cuadro 1) con

Cuadro 1.--Características Físicas de las Cuencas Experimentales.  
INIFAP-Zacatecas-México.

Cuenca	Vertedor	Superficie (ha)	Longitud Cauce Principal (m)	Orden (Horton)	Pendiente media (Nash) (%)	Forma	Profundi- dad del suelo (cm)	Estrato- geoló- gico
Forestal	Triangular cresta gruesa $Q = 2.83 \text{ m}^3/\text{s}$	77.93	1700	2	14.0	.254	40	
Pecuaría	Flujo super- crítico (Walnut Gulch) $Q = 3.34 \text{ m}^3/\text{s}$	46.86	1920	3	19.6	.123	30	Arenisca Conglomera- do
Agrícola	Tipo H de 61 cm (2 ft) $Q = 0.31 \text{ m}^3/\text{s}$  Muestreador tipo Coshocton 30.5 cm (1 ft)	1.1	N.A.	N.A.	7.8	.464	40	Ignea extrusiva ácida

<sup>1</sup>N.A. = no se aplica

un vertedor de tipo triangular de cresta gruesa en la parte alta de la cuenca, con un uso primordialmente forestal y un poco pecuario. En la parte media se tiene una cuenca de uso primordialmente pecuario, con un vertedor de flujo supercrítico (Walnut Gulch). En la parte baja se tiene un vertedor de tipo H y un muestreador de sedimentos de tipo Coshocton de 30.5 cm (1 ft) de diámetro. (Brakensiek, Osborn y Rawls 1979).

Los datos hidrométricos de estas cuencas a partir de 1985, servirán para plantear modelos de los flujos de energía, agua y nutrimentos que podrían validar la información que se obtendrá de los experimentos llevados a cabo a nivel de predio (micro), donde se aprovechará para integrar a los investigadores utilizando el sistema del productor.

#### Proyecto agua-suelo

Es claro que una de las manifestaciones del fenómeno de desertificación más graves es la erosión acelerada, que se produce cuando se combinan un mal manejo del suelo con las condiciones naturales adversas, tales como pendientes pronunciadas y lluvias de alta intensidad. La consecuencia directa de la erosión, es el detrimento en la productividad de los sistemas agropecuarios y forestales que se agrava en regiones de precipitación escasa al impedir el aprovechamiento de los escurrimientos superficiales.

El proyecto agua-suelo, acorde a lo anterior, se plantea como la base de todos los proyectos que se desarrollan en El Plateado y tienen como objetivos: 1) conocer los procesos físicos que rigen las relaciones agua-planta-suelo, 2) evaluar el efecto de las tecnologías tradicionales de manejo de suelos sobre dichas relaciones y 3) determinar las me-

didias preventivas y correctivas más adecuadas para la conservación y captación de suelo y agua, bajo las condiciones de "El Plateado".

Los subproyectos, dentro de este proyecto, obtendrán los siguientes parámetros; registro de variables hidrológicas que incluye hidrología y sedimentos, infiltración, datos climáticos, balance de agua, y nutrimentos. En relación al recurso suelo se incluye: mapeo intensivo, análisis físico químicos y clasificación por características agronómicas, así como aquellos componentes limitativos.

La parte del programa correspondiente a la aplicación de tecnología, consiste en trabajos de conservación del suelo a través de prácticas agronómicas, incremento de la cobertura, incorporación de esquilmos, control de cárcavas y efecto de la fertilización, mediante manejo agrícola a través de un uso eficiente de maquinaria y del agua de riego, y de la tracción animal.

#### Proyecto planta

Este tiene por objetivo, investigar el aprovechamiento máximo del recurso vegetal al incrementar el rendimiento de los cultivos, mejorar la condición del agostadero, conservar y explotar racionalmente el recurso forestal, domesticar plantas silvestres y formar una cubierta protectora al suelo contra los agentes erosivos.

Dentro de las acciones de investigación, se determinó realizar: inventario florístico, mapa de vegetación, estudios autoecológicos, exclusiones y evaluación de sistemas de uso de la vegetación y del suelo. La parte del proyecto correspondiente a la aplicación de tecnología consiste en: introducción de nuevas especies, variedades, y prácticas



agronómicas por áreas climatológicas, reforestación, sanidad vegetal y forestal, manejo de pastizales, combate de plantas indeseables y control de plagas y enfermedades.

#### Proyecto animal

La importancia de este proyecto de investigación queda evidenciada por el hecho de que el 70% de la superficie del área de estudio, se utiliza con fines pecuarios y buena parte de ésta se encuentra sobrepastoreada. El objetivo del proyecto es introducir formas de manejo que favorezcan la producción máxima sostenida sin deterioro del ecosistema, para lo cual, será necesario: primero, mejorar la condición del agostadero incrementando así la producción de forraje y posteriormente, determinar las prácticas de manejo de ganado óptimas y específicas para ese ecosistema.

Dentro de este proyecto de investigación, se planearon los siguientes aspectos: inventario ganadero, identificación de problemas, dieta de rumiantes, listado de fauna silvestre y cuantificación de poblaciones. Respecto a tecnología aplicada: sanidad animal, mejoramiento genético, reproducción, alimentación y la posible reintroducción de fauna silvestre de valor cinegenético práctico.

Dentro de este proyecto las investigaciones empiezan en 1987, por lo tanto no se presenta ningún resultado.

#### Proyecto socioeconómico

Para la realización del programa, se considera indispensable la participación activa de los productores en la definición de los proyectos de investigación para la generación de tecnología. El aspecto socioeconómico se define como la directriz de la investigación, ya que a través de él, serán planteados los problemas y necesidades reales a los productores para que entre éstos y los técnicos se definan las acciones a realizar.

El objetivo de este proyecto es: lograr la participación de los productores del área, en la formación, operación, evaluación y difusión de los resultados de los experimentos; definidos éstos con base en sus propias necesidades y en la protección y mejoramiento del ecosistema.

Los subproyectos de investigación quedan estructurados en cuatro etapas, la primera corresponde a la descripción del ambiente físico, biológico y social, la segunda y tercera etapas están dadas por la operación de los experimentos y la última representa la incorporación de los resultados en sistemas integrados de manejo.

Dentro de el área básica se enumeran las siguientes acciones: levantamiento socioeconómico y análisis, así como la identificación y priorización de problemas. En relación a la aplicación de tecnología se fomentará la organización de productores en sus formas más operativas y se buscará la

coordinación entre estas organizaciones con instituciones de desarrollo, oficiales y privadas.

#### RESULTADOS

Aun cuando no existen recursos nacionales o internacionales etiquetados para este programa el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, no ha interrumpido sus trabajos; sin embargo, el hecho que se hayan derivado recursos humanos y financieros que corresponden a otros programas, ha limitado un avance acorde con lo que ha sido proyectado y consecuentemente, los resultados obtenidos no son lo suficiente abundantes como deberían ser en este período del proyecto.

#### Proyecto socioeconómico

La repercusión y la relación con los productores, ha sido posible exclusivamente con aquellos que han mostrado interés en la manipulación de sus sistemas, y por otro lado, se ha buscado que tengan características personales de liderazgo en las acciones de producción que llevan a cabo en la comunidad. De esta forma, un primer paso ha sido la tipificación de las unidades de producción.

Para las partes alta y media se llevó a cabo un censo en el que participaron el total de productores, se encontró que la unidad típica de producción en la parte alta comprende una superficie bajo temporal de 5 ha, agostadero de 10 ha y bosque 10 ha. Los rendimientos medios de maíz son de 723 kg/ha y de frijol 166 kg/ha. Los productores que hacen rotación de cultivos son el 23% del total y el destino general de la producción es para el autoconsumo; el 68% de los propietarios utilizan el bosque en forma comunal y el 18% admiten que reciben asistencia técnica.

En cambio, en la parte media de la cuenca, la unidad de producción típica comprende 5 ha de temporal y 5 ha de agostadero, donde se obtienen rendimientos de maíz de 793 kg/ha y de frijol de 382 kg/ha. Solamente el 14% de los productores hace rotación de cultivos y algunos comercializan su cosecha; además, solo el 5% de los productores han recibido asistencia técnica.

Los problemas que los productores percibieron como limitativos de la producción fueron: el uso inadecuado y la poca profundidad del suelo, la baja disponibilidad del agua, la maleza y la condición pobre de los agostaderos.

La cuenca, tiene aproximadamente el 30% de la superficie dedicada a la agricultura, dentro de ésta existe una pequeña zona de agricultura de riego en los márgenes del Río de Juchipila de 325 ha.

En una encuesta efectuada a 108 productores temporales, se encontró que la superficie por propietario varía de 3 a 80 ha, distribuidas de la siguiente manera: el 22% tiene menos de 4 ha, el 34% tiene 4 ha, 30% tiene entre 5 y 6 ha y el 14% tiene superficies mayores de 9 ha. Asimismo, se

definió que el 35% de los productores se dedican a la agricultura de temporal, el 29% tiene un sistema de temporal con agostadero y el 12% se dedica a actividades netamente pecuarias. Los restantes (24%), se distribuyen en zonas de riego y sus combinaciones.

En cuanto a la agricultura de temporal la mayoría la dedican para el autoconsumo y generalmente, el tamaño de predio está relacionado con el nivel de insumo utilizado. El cultivo predominante es el maíz y en menor grado el frijol y el cacahuate; aproximadamente la mitad de los productores fertilizan su tierra y muy pocos utilizan agroquímicos. La producción media en agricultura de temporal es de 1 ton/ha.

Las características del sistema de explotación del agostadero son para venta comercial y consumo familiar. La superficie por productor fluctúa en la mayoría de los casos entre 40 y 90 ha, con una carga animal promedio de 2.8 ha por unidad animal, esto contrasta con las recomendaciones de 11.4 ha/u.a. para la parte alta y 7.05 ha/u.a. para la parte baja (COTECOCA 1980). El sistema de pastoreo es continuo y extensivo y la mayoría de los productores ayudan al ganado en la época de secas con esquilmos de varios tipos.

Otro aspecto fundamental en la formación de lazos entre los productores e investigadores, ha sido el establecimiento de experimentos y acciones en general, entre éstas podemos contar con: el proyecto del INIFAP denominado El Productor Experimentador, establecimiento de bancos de germoplasma introducido, reforestación y ampliación de áreas de pastos introducidos.

En 1975, se planteó la necesidad de probar algunos materiales de maíz por los mismos productores en la parte alta, establecidos en cuatro comunidades, con la participación activa de los productores. Desafortunadamente, el temporal fue muy malo y los resultados desalentadores, ya que sólo se obtuvo rastrojo en una sola localidad con rendimientos de hasta 5.25 ton de MS/ha.

Por otro lado, se han establecido en varios sitios en la parte alta y media, colecciones de gramíneas para observar su adaptabilidad y producción. A su vez, a través de programas de Gobierno del Estado de Zacatecas, se establecieron en coordinación con productores, superficies semicomerciales de pastos introducidos como: *Buffel Cenchrus ciliaris*, *llorón Eragrostis lehmanniana* y *banderita Bouteloua curtipendula* a lo largo de toda la cuenca.

El interés por apoyar la producción forestal y alentar la reforestación nos ha permitido establecer tres lotes de introducción del pino plateado piñonero *Pinus maxi-martinezii*, con un total de 600 plantas, para definir los sitios con posibilidades de producir el piñón de alto valor comercial.

Estas acciones, hasta ahora han sido aisladas y de efecto limitado en la población, por esto se decidió obtener un apoyo más decidido teniendo per-

sonal que viviera directamente en las comunidades y que lograran ganar la confianza que los investigadores sólo han tenido aisladamente. A partir de 1987, se cuenta con un matrimonio capacitado en desarrollo rural y la medición de su consecuencia, así como también en hacer que los productores hagan suyos los resultados del proyecto.

## Proyecto Agua-Suelo

En 1981, se excluyeron al pastoreo áreas representativas de los diferentes tipos de vegetación que se encuentran en la cuenca, para observar en ellas el efecto del descanso del pastoreo en la producción y composición del agostadero. En estas áreas protegidas del pastoreo, se estudió el efecto de la lluvia simulada sobre la infiltración y pérdida del suelo, y se compararon estos parámetros con los observados en áreas pastoreadas. Los resultados de esta investigación formaron parte de una tesis doctoral (Sánchez 1984).

Los sitios en estudio involucraron las principales comunidades vegetales existentes a través de la Cuenca Hidrológica, desde el bosque de encino, en la parte alta, hasta los matorrales espinosos, en la parte baja.

Los cambios sucesionales de los sitios influyeron significativamente en la tasa de infiltración. Lo anterior, fue demostrado por tasas de infiltración más altas, para tratamientos excluidos al pastoreo por tres años, comparado con tratamientos pastoreados (cuadro 2).

El sitio de pastizal con más bajo potencial para incrementar la tasa de infiltración, con un descanso de tres años, fue el sitio correspondien-

Cuadro 2.--Infiltración terminal media (cm/hr) entre sitios pastoreados y excluidos al pastoreo. INIFAP-Zacatecas-México.

Sitio	1982		1983	
	Pastoreado	Excluido	Pastoreado	Excluido
Matorral espinoso	1.67 b <sup>1</sup>	2.07 ab	1.63 b	2.00 bc
Selva baja caducifolia en lomeríos	1.46 b	1.37 b	1.89 b	2.65 bc
Selva baja caducifolia en ladera	2.01 a	2.44 a	1.75 b	3.30 a
Pastizal con encino	3.03 b	2.73 a	1.31 a	4.15 b
Area cultivada abandonada	1.94 b	2.50 a	2.71 a	3.04 b
Bosque de encino.	2.39 ab	1.21 b	2.02 ab	2.57 bc

<sup>1</sup>Las medias seguidas por la misma literal para cada columna no son significativamente diferentes (P<.05).



te a matorral espinoso. El mejor sitio fue el de pastizal con encino, observándose incrementos en la tasa de infiltración de 1.31 a 4.15 cm/hr, bajo condiciones de pastoreo y excluido al pastoreo a corto plazo, respectivamente.

Las variables de primera importancia para predecir la tasa de infiltración fueron microrelieve del suelo, mantillado orgánico, área desnuda y la cobertura de roca. Estas variables fueron diferentes para cada sitio estudiado, y se obtuvo una ecuación predictiva para cada sitio.

Los cambios sucesionales de los sitios también influyeron en la cantidad de sedimentos transportados por los escurrimientos superficiales. El sitio con más bajo potencial para reducir la cantidad de sedimentos en tres años de exclusión al pastoreo, fue el de selva baja caducifolia con *Ipomoea* sp. y *Acacia* sp. localizado en lomeríos de la parte baja de la cuenca. El sitio que mostró la mayor reducción en la cantidad de sedimentos transportados, fue el pastizal con encino, ubicado en la parte alta de la cuenca. Los sedimentos disminuyeron de 265 a 54 kg/ha, para pastoreado y excluido al pastoreo, respectivamente (cuadro 3).

Las variables de importancia primaria para predecir sedimentos fueron la cobertura foliar de pastos, la biomasa aérea de pastos, área basal total, microrelieve de suelo y cobertura de rocas.

La anterior información es de utilidad para definir guías de utilización de las especies presentes en un pastizal al conocer el grado de utilización del recurso y su repercusión en la conservación del recurso suelo-agua.

Cuadro 3.-Producción media de sedimentos (kg/ha) entre cada sitio para áreas pastoreadas y excluidas al pastoreo. INIFAP-Zacatecas-México.

Sitios	Pastoreado	Excluido
Matorral espinoso de <i>Prosopis</i> y <i>Acacia</i> en lomeríos.	549 a <sup>1</sup> A	514 a A
Selva baja caducifolia con <i>Bursera</i> y <i>Acacia</i> en lomeríos	241 a B	215 a B
Selva baja caducifolia con <i>Ipomoea</i> , <i>Bursera</i> y <i>Eysenhardtia</i> en ladera	170 a BC	121 b BC
Pastizal con <i>Quercus</i>	265 a B	54 b D
Área cultivada abandonada	128 a C	78 b CD
Bosque de <i>Quercus</i>	111 a C	77 b CD

<sup>1</sup>Las medias seguidas por la misma literal minúscula para cada sitio y para la misma literal mayúscula entre cada columna no son significativamente diferentes (P<.05).

## Proyecto Planta

En 1982, se establecieron en la zona, experimentos sobre introducción y adaptación de variedades de mijo, se obtuvieron resultados satisfactorios con especies del género *Pennisetum*, tales como la variedad Millet-13 para forraje, y con el género *Setaria*, variedad PI-391634 para grano. Se iniciaron estudios tendientes a la domesticación del "varaduz" (*Eysenhardtia polystachia*), que es una arbustiva leguminosa nativa que tiene grandes posibilidades como planta forrajera que podría expandirse bajo manejo.

Dichos estudios, iniciaron con el conocimiento de la fenología de la planta, como resultado se observó que se dispone de 114 días para la utilización de esta arbustiva por los animales domésticos.

En 1983, se iniciaron los subproyectos: colección, introducción, evaluación y reproducción de germoplasma agrícola y forrajero, y prácticas agromónicas. Dentro del primero se obtuvieron los resultados que se muestran a continuación:

Cultivo	Sobresalientes	Rendimiento Grano (kg/ha)
Maíz	H-419	5,479
(riego)	AN-430	
Frijol	SIECHI	1,315
(temporal)	Pinto Fresnillo	1,303
Cacahuatate	Guanajuato Español	481
(temporal)	Blanco del Río	436
Girasol	IS-7775	857
	Cernianka	719
Sorgo	IC/CI-2	5,088
Mijo	MBH-110	892
	IVS-P-77	788

La investigación en la línea planta, está también orientada a mejorar la condición del agostadero a través de prácticas de mejoramiento del pastizal. Como resultado sobre control químico de arbustivas indeseables, en la parte baja de la cuenca se logró hasta un 99 y 85% de mortandad para gatuño y huizache, hexazinone, en invierno y primavera, respectivamente.

Para apoyar la interpretación de la dinámica de la vegetación, y en especial la del pastizal, se han establecido seis exclusiones a través de las diversas comunidades presentes en la Cuenca. Los resultados más sobresalientes han sido las diferencias en respuesta al descanso y su relación casi directa con la tasa de infiltración media.

En sitios de bajo potencial, donde por causas aún no claramente conocidas, la colonización del suelo por gramíneas es muy lenta o nula, se ha encontrado un incremento muy bajo (0.07 cm/hr) de la tasa de infiltración, como es el caso de la exclusión Apulco en la parte baja. En cambio el sitio J. Amaro, tuvo una gran respuesta a la exclusión (3.55 cm/hr), cabe mencionar que éste es un sitio más mésico, con gran acumulación de hojarazca. Los

parámetros vegetales cobertura y cosecha en pie, mostraron ser más variables en función de la cantidad y la distribución de la lluvia.

#### PROYECCION

En forma resumida se ha presentado el proceso que se siguió para localizar y definir un escenario ecológico, que además se busca cambiarlo. El cambio obedece a las metas ambiciosas que se establecieron para hacer eficiente el proceso natural y sobre todo corregir el retroceso que se ocasionó en las últimas décadas por efecto de la acción del hombre que inclusive está poniendo en peligro la supervivencia del recurso.

En estos pocos años de experiencia, se han obtenido algunas conclusiones valiosas que se resumen así:

1. Cualquier línea de investigación que se desarrolle en esa región tiene perfecta cabida en el contexto de la cuenca hidrológica y de esta manera queda integrado y se facilita conocer las interacciones entre ellas.

2. Este no es un proyecto que deba llevar una sola institución, debe ser compartido entre varias y además multidisciplinario.

3. Los recursos humanos, financieros y materiales deben ser acordes y en balance con la magnitud del problema, de lo contrario la solución integral que se busca se ve muy lejana y que quizá imposible.

4. En países en vías de desarrollo, como es el caso de México, un proyecto como el presente no tendrá ninguna posibilidad de éxito sin la participación activa de los habitantes de la cuenca hidrológica. Cualquier solución a que se llegara no tendría ningún sentido sin pasar a través del filtro económico y social que es indispensable.

5. El período de duración de estos proyectos, aun teniendo todos los apoyos necesarios, requieren del factor tiempo y es así como los países desarrollados han concebido que estos proyectos deban estar dentro de un contexto a largo plazo, que está definido por esa característica y se abrevian LTER-Long Term Ecological Research (Strayer, 1986).

6. Se aprendió también que un análisis profundo del concepto de integración de una cuenca nos indica que este enfoque sistémico que ha sido establecido a lo largo del flujo de agua, deberá substituir invariablemente a cualquier intento aislado de investigación que considere alguno de los recursos naturales que se quiera investigar en forma aislada.

7. Finalmente el convencimiento de este enfoque de investigación tiene muchas ventajas sobre los esfuerzos aislacionistas: obliga a establecer un sistema de comunicación y difusión clara de lo que se pretende a todos los actores que participen, desde los productores que tienen los papeles estelares, hasta los tomadores de decisiones de alto nivel cuya última palabra determina la existencia o ausencia del proyecto y desde luego, están los investigadores que obviamente deberán ser los más enterados.

Los siete puntos antes señalados son quizá la cosecha más importante que ha dado El Plateado. Se tiene un modelo científicamente viable y sitúa además en la realidad objetiva del productor. Por consiguiente se cree que está completo.

El concepto sistemático de manejo de una cuenca no se entiende fácilmente y a medida que no se entiende no se cree en él.

Es aquí donde se tiene una tarea difícil por delante, un verdadero reto, pero existe una esperanza.

#### AGRADECIMIENTOS

El proyecto indudablemente ha tenido otros investigadores trabajando en diferentes épocas, algunos de ellos son: Doroteo Caro Valderrama, Ramón Gutiérrez Luna, Alfonso Serna Pérez, Miguel A. Velázquez Valle, a todos ellos les reconocemos sus esfuerzos sin los cuales este proyecto no hubiese avanzado.

#### LITERATURA CITADA

- Brakensiek, D.L., H.B. Osborn y W.J. Rawls. 1979. Field Manual for Research in Agricultural Hydrology. USDA Science and Education Adm. Agr. Hand. 224. 547 p.
- CETENAL. 1970?. Clasificación de Suelos FAO-UNESCO 1970. México. Sec. de la Presidencia, CETENAL. 27 p.
- COTECOCA. 1980. Zacatecas y Aguascalientes. Tomo 1. SARH-Subsecretaría de Ganadería. 134 p.
- García, E. 1973. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. México UNA. 246 p.
- Noy-Meir, I. 1974. Desert Ecosystems: Environment and Producers. Ann. Rev. Ecol. Syst. 4:25-54.
- Sánchez-Brito, Carlos. 1984. Effects of livestock grazing and exclusion on infiltration rate and sediment yields for different range sites on El Plateado watershed, Zacatecas, Mexico. PhD dis. N.M. State U. Las Cruces, New Mexico. 156 p.
- Strayer, D. 1986. An essay on Long-Term Ecological Studies. Bull. Eco. Soc. Am. 67:271-274.



245

# Using Natural Desert Ecosystems as Models for Agroforestry: The Gray, Spiney Revolution<sup>1</sup>

Gary Paul Nabhan<sup>2</sup>

---

**Abstract:** Because groundwater and surface water resources are now overallocated in North American deserts, we must further consider rainfed food production based on multicropping native, adapted plants. The lifeform diversity and structural heterogeneity of desert plant communities can serve as models for agroforestry.

---

We are at a turning point in the history of food production in arid zones, and the much of desert forestry, applied ecology and agronomy work being done in Mexico and the U.S. today reflects this change in direction. We are changing from the resource management perspective which has dominated at least a century of desert development, during which human populations have increased beyond their capacity to obtain their food directly from arid, rainfed ecosystems.

Instead of supporting ourselves on the desert's intrinsic resources, we have relied on transported food imported from more humid zones. We have also dammed rivers and pumped underground water to irrigate moisture-loving food and forage crops. This transformation of the desert will attract about 850 million people to dry land regions around the world by the year 2000. Look at our desert cities---Juarez, Phoenix, Mexicali, Torreon, Las Cruces, Monterrey, Las Vegas, Hermosillo and Tucson---- their apparent vitality would be not possible in its present condition without large supplies of groundwater or river water captured by large dams.

---

<sup>1</sup>Paper presented at the Symposium on Strategies for Classification and Management of Native Vegetation for Food Production in Arid Zones [Tucson, Arizona, October 12-16, 1987].

<sup>2</sup>Gary Paul Nabhan is the Assistant Director for Research and Collections at the Desert Botanical Garden, 1201 North Galvin Parkway, Phoenix, AZ.

Yet our ability to continue to expand high-input food production is severely limited, especially in dry lands. There is already a worldwide scarcity of fresh, clean water, and that is why we are at a turning point. Groundwater aquifers are being rapidly depleted and contaminated. From this point in history, it is probable that the area in American deserts irrigated by groundwater will decrease, not increase. Already, many groundwater-irrigated fields have been abandoned on tens, if not hundreds of thousands of hectares in the Costa de Hermosillo, La Laguna, the Ogallala aquifer in west Texas, and in Arizona's Cochise and Pinal counties.

Similarly, surface water supplies from rivers have already been over-allocated. As Donald Worster (1985) has pointed out, the last major dam projects in the United States have already come to pass. No new irrigation projects of any size have been approved in the last twenty years. Mexico is still planning some river irrigation projects, but in smaller and smaller watersheds. And much of our river water will go to urban growth, not to food production.

Thus, there is a great need for rainfed food production systems based on plants which require less water than do conventional crops derived from humid zones. In general, there is a global demand for low-input food production systems, for they have greater stability and less risk of failure than high input systems (Ehrenfeld 1987). I believe that desert agroforestry production and the domestication of wild desert adapted plants will help meet these demands, if they remain responsive to the local human communities and environments where they are initiated.

However, most agroforestry projects today use exotic species and are not well-integrated with the surrounding ecosystems. Agroforestry designs should use as their models the natural ecosystems of the region where they are to be placed, rather than conventional agronomic systems. In the Sonoran Desert, we can use the great diversity of plant adaptive strategies as the components of our agroforestry designs.

But what are the characteristics of desert ecosystems? Although low in species diversity, these ecosystems are high in genetic diversity and lifeform diversity as the studies presented in this conference have shown. Their dominant plants utilize multiple strategies for adapting to and tolerating abiotic stresses such as heat and drought. They are phenologically stimulated by rains of greater than 25-30 millimeters falling within a few hours during particular seasons. Tolerance to interspecific competition may be low, and this may account for the variability in the degree of structural heterogeneity that we find in different desert habitats. Yet we can use the most heterogeneous habitats as models for designing complex, more stable food systems that require few outside inputs. We can imagine an agroforestry system using numerous desert lifeforms, each placed in an appropriate microhabitat (Nabhan 1984).

But to design such a system, we must have excellent inventories of the desert vegetation types in each region, the useful plants within each type, and their microhabitat requirements. Several studies presented during this conference illustrate advances in accomplishing these kinds of inventories, from new systems to classifying vegetation to synecological studies of particular resource plants.

We must document not only the useful tree species, but economic plants of other lifeforms as well, as Heriberto Parra Hake, Wendy Hodgson, Robert Bye and Noe Meraz have suggested during this conference. We must identify if any of these useful plants are being overexploited as agaves are in some regions. Certain useful plants, such as *Panicum sonorum* are threatened with extinction in deserts. If we are ever to utilize them, we must first conserve these plants at risk, and rescue the remaining genetic diversity left in their gene pools.

Several studies presented during this conference illustrated the use of germplasm nurseries, or living gene banks, for conserving and evaluating desert species for forestry projects. Both the U.S. and Mexico need to invest more in the maintenance of long-term germplasm nurseries of desert crops and agroforestry species, for conventional plant materials centers in more humid zones do not serve us well. The INIFAP halophyte nursery for seed production at Rancho La Saucedá in Coahuila is an excellent example of a gene bank for underexploited species. At Native Seeds/SEARCH gardens nearby the conference site in Tucson, numerous desert-adapted native crops and their wild relatives are being grown for seed increases, to share for free with indigenous communities and researchers in the U.S. and Mexico. At the Gentry Agroecology Project of the Desert Botanical Garden in Phoenix, we are growing more than fifty species native to the Sonoran and Chihuahuan Deserts, each of which can provide multiple products, such as food, spices, medicines and fuelwood.

At the same time we are conserving and increasing the seed supplies of scarce desert resource plants, we should evaluate their environmental tolerances and establishment requirements.

It may be that some of these species cannot be used in reforestation efforts unless nurse plants, mycorrhizal associates, or supplemental moisture are provided to them. Too many new crop projects have already failed because rural development workers believed that low input plants required no inputs whatsoever. We need to determine whether the use of microbial inocula and runoff microcatchments can increase our successes.

As we are determining through the FLORUTIL project coordinated by the Desert Botanical Garden and the Universidad Autónoma de Tamaulipas, there are numerous valuable desert plants that are threatened with extinction. We have three options for managing them: 1) protecting remaining populations from overharvest and other threats, to allow eventual recuperation; 2) reforesting their former range with these plants to allow for a managed wild harvest in the future; or 3) collecting seeds for ex situ conservation, propagation, and perhaps even commercial cultivation.



But what happens once we have identified particular wild plant genetic resources that do well with few external inputs, and we begin to propagate or cultivate them in agroforestry projects? If we domesticate these wild plants for their valuable products, how does this effect the small producer who has been gathering these products directly from the wild? Is he eliminated from the market because his production and quality is low relative to that of subsidized projects? Is he allowed to draw on the reforested populations, so that his production increases? Do new harvesting and processing methods improve the quality of his product and reduce the waste and the pressure on the plant populations?

If our forestry management efforts are to help rural desert dwellers, many of whom have inadequate sources of income, we must ask such questions when we begin designing our projects. Local communities must be asked about their needs, and should be considered partners in the management, conservation and development of local plant resources. Conference participants documented several examples of this community involvement already taking place, from Tamaulipas, to the Altiplano, to the Sierra Madre Occidental, to Indian reservations in the Sonoran Desert.

Finally, it is clear that we have past the phase of being enamored by single "miracle crops," whether they be *Eucalyptus*, *Leucaena*, *Simmondsia*, or *Parthenium*. None of these plants are panaceas to all of our problems in North American deserts. We now know that many of the so-called miracle crops develop new management problems when cultivated intensively in monoculture (Alcorn, Mihail and Orum 1986). Instead, investigators are evaluating polyculture cropping and agroforestry systems in which several useful plants are intercropped (Altieri 1983). The integrated modules, developed in the Chihuahuan Desert, the Altiplano and the Baja California peninsula by INIFAP investigators, are excellent examples of multicropped, rainfed food and forage production systems.

The approaches to desert food production presented at this conference are appreciably different from those labelled as the Green Revolution, in which one or two widely-adapted, high-yielding crop varieties are grown with high inputs of water, pesticides and fertilizers.

We might instead label this newly emerging approach to desert food production the Gray, Spiney Revolution. It draws upon native plants with intrinsic adaptations to heat and drought such as gray pubescence on their leaves, or thorns and spines to reduce predation, heat load, and radiation damage. But it is also a Revolution which respects the integrity of natural desert ecosystems as a whole, and draws upon the indigenous knowledge of desert-dwelling cultures. Hopefully, it will lead us to a sustainable form of food production that will not deplete the soil, the biotic resources or the human communities of North American deserts.

#### LITERATURE CITED

- Alcorn, S. M., J. D. Mihail, and T. V. Orum. 1986. What? Our new crops are sick? *Journal of Arid Environments* 11: 111-114.
- Altieri, Miguel A. 1983. *Agroecologia: Bases Cientificas de la Agricultura Alternativa*. 184 p. Centro de Estudios en Tecnologias Apropriadas para America Latina, Valparaiso, Chile.
- Ehrenfeld, David. 1987. Implementing the transition to a sustainable agriculture: an opportunity for ecology. *Bulletin of the Ecological Society of America* 17:5-8.
- Nabhan, Gary Paul. 1984. Replenishing desert agriculture with native plants and their symbionts. pp. 172-182. In *Meeting the Expectations of the Land*. (Wes Jackson, Wendell Berry and Bruce Colman, ed.s) 247 p. North Point Press, San Francisco, CA.
- Worster, Donald. 1985. *Rivers of Empire: Water, Aridity, and Growth of the American West*. 402 p. Pantheon Books, New York, N.Y.

245

# BALANCE HIDRICO EN MAIZ DE TEMPORAL EN AGUASCALIENTES, MEXICO<sup>1</sup>

Miguel Angel Martínez Gamiño<sup>2</sup>

**Resumen.** Se cuantificaron los escurrimientos superficiales, erosión hídrica y su control, evapotranspiración y rendimiento del maíz de temporal. Una cobertura de paja, 5 ton/ha, redujo 33 o/o los escurrimientos superficiales y 80 o/o la erosión hídrica. La sequía durante el llenado de grano afectó el rendimiento en más del 100 o/o.

## INTRODUCCION

En Aguascalientes, el factor principal que limita la producción de maíz de temporal es la escasez e irregularidad de las lluvias, lo cual ocasiona periodos con déficit hídrico para la planta, los cuales generalmente coinciden con la floración y el llenado de grano. En la actualidad es necesario un uso más adecuado de los recursos fundamentales en la producción agrícola como en este caso el del agua. Sin embargo, no se tiene una cuantificación precisa de los fenómenos que giran en torno al ciclo hidrológico y en especial aquellos que ocurren en el sistema agua-suelo-planta-atmósfera, donde el balance hídrico permite una cuantificación de las relaciones entre sus componentes.

El objetivo del presente trabajo fue cuantificar los escurrimientos superficiales, erosión hídrica, evapotranspiración y rendimiento del maíz de temporal.

## REVISION DE LITERATURA

El balance hídrico es definido como una aplicación de la Ley de Conservación de la Materia y en este caso, del agua en el sistema suelo-planta-atmósfera, donde la cantidad de agua almacenada en un volumen dado de suelo debe ser igual a las diferencias entre los ingresos y egresos de agua, como lo consignó Norero (1984), quien además consideró la siguiente expresión algebraica.

$$L_f = L_i + P - e - E - E_p - I$$

donde:

$L_f$  = Lámina de agua retenida en un volumen dado de suelo al finalizar un periodo de "t" días,

$L_i$  = Lámina de agua contenida en ese volumen de suelo al iniciarse el periodo de "t" días:

- P = Agua aplicada a la superficie del suelo durante el periodo "t", agua de precipitación, de riego o ambas;
- e = Agua que sale del suelo por escurrimiento superficial;
- E = Agua evaporada por la superficie durante el periodo "t",
- $E_p$  = Agua traspirada por la vegetación durante "t", y
- I = Agua de percolación durante "t".

Los métodos para cuantificar el balance hídrico pueden ser directos o indirectos. Los primeros se basan en medir bajo condiciones reales los componentes del ciclo hidrológico por separado y los indirectos son aquellos que emplean en sus análisis datos meteorológicos, además de las características de suelo y planta.

### Métodos directos

Dado lo específico del balance hídrico, National Academy of Sciences (1974), señaló que fue necesario considerar:

- a) Suelo. Especialmente características de retención, escurrimiento e infiltración del agua;
- b) Topografía. Pendiente del área y dirección de arroyos;
- c) Precipitación. Total, frecuencia e intensidad;
- d) Cultivos. Necesidades hídricas durante el ciclo vegetativo;
- e) Otros factores climáticos como: viento, temperatura, luminosidad, etc.

Por su parte Lombardi (1976), describió un sistema para determinar el escurrimiento superficial en estudios de balance hídrico, mediante parcelas de 20 m de largo por un metro de ancho con un colector con capacidad de 1,000 litros en la parte baja. Con frijol, algodón, mijo y soya, reportó para los dos primeros cultivos una pérdida de agua por escurrimientos del 13 o/o del total de las lluvias y en el caso de mijo y soya fue de 5 y 7 o/o respectivamente. Consideró a este método como aceptable para determinar la evapotranspiración real de los cultivos a nivel de campo.

<sup>1</sup> Artículo presentado en el Simposium de Estrategias de Clasificación y Manejo de la Vegetación Silvestre para la Producción de Alimentos en Zonas Áridas, en Tucson, Arizona, Octubre 12-16, 1987.

<sup>2</sup> Miguel Angel Martínez Gamiño es Investigador titular del Programa de Cosecha de Agua en el CIFAP-Aguascalientes, INIFAP, México.



El Colegio de Postgraduados (1977), señaló un método similar por medio de lotes de escurrimientos de 2 m de ancho por 10 m de largo, con un depósito graduado en litros en la parte baja, lo cual permitió cuantificar el agua que se perdió por escorrentía y la que se retuvo en el suelo.

Dada la variación del área experimental en trabajos de balance hídrico, Ortiz (1982), consideró que el tamaño del área experimental estará en función de los objetivos a estudiar.

#### Métodos indirectos

Son una representación matemática de las relaciones en el sistema agua-suelo-planta-atmósfera. Por su naturaleza permiten predecir los componentes del ciclo hidrológico a nivel macro y micro.

La literatura reporta un gran número de dichos modelos, como los señalados por Norero (1984) y Palacios (1978), sin embargo éstos están encaminados más a zonas de riego que a temporal. Por su parte Villalpando (1984) citó un método sugerido por la FAO para realizar un balance hídrico en condiciones de temporal en periodos mensuales de 10 días, donde se involucran datos de precipitación; evapotranspiración potencial (ETP), la cual fue definida como el producto de la evaporación de un tanque tipo "A" multiplicado por 0.75 como factor de ajuste y así obtener la cantidad de agua necesaria para que el cultivo no presente déficit hídrico; un coeficiente de desarrollo del cultivo "Kc" por etapa fenológica; la evapotranspiración real (ETR) obtenida como el producto del valor de la ETP y el "Kc"; por último se considera la humedad residual en el suelo en función de la capacidad de almacenamiento de agua por el suelo y que se obtiene al restar el valor de ETR al de la precipitación.

#### MATERIALES Y METODOS

El trabajo se realizó durante 1980 y 1981 en el Campo Agrícola Experimental Auxiliar de Sandoval, en el estado de Aguascalientes (22° 09' LN y 102° 18' LW) con una altitud de 2000 msnm. Su clima se define como BS<sub>1</sub> KW (w), que corresponde a un clima semi-seco, con lluvias en verano y escasas a lo largo del año, temperatura media anual entre 12 a 18°C, según García (1973). La precipitación varía de 182 y 486 mm, con una media de 363 mm en un periodo de 10 años (1973 a 1982). Los suelos son del tipo Planosol Eútrico, textura migajón arcillo arenoso y duripán o tepetate a menos de 50 cm de profundidad y pendiente del 6 o/o.

Se utilizó la variedad VS-202, con una densidad de siembra de 12 kg/ha. El suelo se barbechó, rastreó y surcó en mayo de cada año de estudio, se fertilizó con el tratamiento 40-40-00; como fuente de nitrógeno se usó nitrato de amonio y de fósforo, superfosfato de calcio simple. Las parcelas fueron de ocho surcos a 0.76 m entre sí por 30 m de largo, en la parte central se tuvo una área de 2 x 10 m delimitadas con láminas; en la parte

baja se colocó un depósito con capacidad de 600 litros para medir escurrimientos y estimar la erosión hídrica. La humedad del suelo se determinó por el método gravimétrico en dos profundidades: 0 a 25 y 25 a 50 cm, en muestreos realizados dos veces por semana.

Una vez delimitadas las dos parcelas a una de ellas se le esparcieron 5 ton/ha de rastrojo seco de maíz. Se siguió el procedimiento de la FAO, señalado por Villalpando (1984), pero considerando la evapotranspiración actual (ETA) en base a la humedad del suelo. El análisis se dividió en cuatro etapas fenológicas de acuerdo a Jugheimer (1981), las cuales fueron:

Etapas I. Vegetativa, que comprende desde la germinación hasta la diferenciación de órganos reproductores.

Etapas II. Transición hasta antes de floración.

Etapas III. Reproductiva, abarca el periodo de floración.

Etapas IV. Formación y llenado de grano hasta llegar a madurez fisiológica.

#### RESULTADOS Y DISCUSION

##### Balance hídrico en 1980

El Balance hídrico para 1980 en maíz de temporal indicó que dicho cultivo tuvo un déficit hídrico de 232.3 mm en su ciclo vegetativo que abarcó del 24 de julio, fecha de la siembra al 20 de noviembre.

En el Cuadro 1 se reportan los valores obtenidos en cada etapa fenológica del maíz sin cobertura de rastrojo. Para la etapa I o vegetativa se registraron 177.1 mm de precipitación, que representaron el 70 o/o del total, situación que generó se obtuviera un balance positivo es decir las necesidades hídricas del cultivo sí fueron cubiertas sin restricción, aun cuando se perdieron por escurrimientos 52.2 mm, lo que pone de manifiesto una mala distribución de la precipitación con respecto a las necesidades del cultivo, pues a partir de la etapa II o vegetativa la precipitación cada vez fue menor y en cambio las necesidades hídricas del maíz fueron en aumento, hasta cuantificar en el llenado de grano un déficit hídrico de 112.3 mm lo cual ocasionó que el rendimiento de grano fuera de solo 125 kg/ha y el de rastrojo 500 kg/ha.

En el Cuadro 2 se listan los valores obtenidos del balance hídrico con cobertura de rastrojo de maíz donde se destaca que dicha cubierta al suelo disminuyó un 25 o/o los escurrimientos registrados sin cobertura, situación que favoreció una mayor infiltración del agua en el suelo y por lo tanto el cultivo tuvo más disponibilidad de agua en el suelo, lo que se reflejó en los valores de la ETA, dado que se obtuvieron con base en la humedad del suelo.

En total, los valores de la ETA se incrementaron en un 23 o/o con el uso de la cobertura con rastrojo de maíz. No obstante dicho efecto positivo en la retención de humedad del suelo, no fue relevante en el rendimiento de grano dado que éste fue de 120 kg/ha, similar al testigo y en rastrojo se obtuvieron 850 kg/ha.

Cuadro 1.— Evapotranspiración actual, real y potencial (ETA, ETR y ETP) para maíz de temporal sin cobertura de rastrojo en Sandoval, Aguascalientes, México, 1980.

Etapa Fenológica	Prec.	Escurr.	ETA	ETR	ETP	ETA-ETR
..... (mm).....						
I	177.1	52.2	55.0	52.0	130.0	3.0
II	46.0	10.7	79.9	122.5	153.1	-42.6
III	17.0		13.7	94.1	94.1	-80.4
IV	12.0		7.9	120.2	150.2	-112.3
TOTAL	252.1	62.9	156.5	388.8	527.4	-232.3

Cuadro 2.— Evapotranspiración actual, real y potencial (ETA, ETR y ETP) para maíz de temporal con cobertura de rastrojo en Sandoval, Aguascalientes, México, 1980.

Etapa Fenológica	Prec.	Escurr.	ETA	ETR	ETP	ETA-ETR
..... (mm).....						
I	177.1	40.8	58.9	52.0	130.0	6.9
II	46.0	6.5	97.0	122.5	153.1	-25.5
III	17.0		17.7	94.1	94.1	-76.4
IV	12.0		19.2	120.2	150.2	-101.0
TOTAL	252.1	47.3	192.8	388.8	527.4	-196.0

#### Balance hídrico en 1981

En 1981 el ciclo del maíz fue del 20 de julio al 19 de noviembre. En los Cuadros 3 y 4 se reportan los valores del balance hídrico obtenidos con y sin cobertura de rastrojo. En ambos casos el balance general resultó negativo con 283.9 y 257.8 mm respectivamente.

Cuadro 3.— Evapotranspiración actual, real y potencial (ETA, ETR y ETP) para maíz de temporal sin cobertura de rastrojo en Sandoval, Aguascalientes, México, 1981.

Etapa Fenológica	Prec.	Escurr.	ETA	ETR	ETP	ETA-ETR
..... (mm).....						
I	34.8	14.7	12.9	51.6	129.1	-38.7
II	34.4		54.2	112.2	140.1	-58.0
III	15.5	7.3	6.4	67.9	67.9	-61.5
IV	8.9		2.9	128.6	160.7	-125.7
TOTAL	93.6	22.0	76.4	360.3	497.8	-283.9

Cuadro 4.— Evapotranspiración actual, real y potencial (ETA, ETR y ETP) para maíz de temporal con cobertura de rastrojo en Sandoval, Aguascalientes, México, 1981.

Etapa Fenológica	Prec.	Escurr.	ETA	ETR	ETP	ETA-ETR
..... (mm).....						
I	34.8	6.7	22.4	51.6	129.1	-29.2
II	34.4		56.5	112.2	140.1	-55.7
III	15.5	3.2	7.7	67.9	67.9	-60.2
IV	8.9		15.9	128.6	160.7	-112.7
TOTAL	93.6	9.9	102.5	360.3	497.8	-257.8

La distribución de la precipitación al igual que en 1980 fue más abundante al inicio del ciclo del cultivo y durante el llenado de grano se registró el menor volumen por lo que se obtuvo un déficit hídrico donde sólo se cubrió un 2 o/o de las necesidades reales del cultivo (ETR). En dicho año el rendimiento de grano fue nulo.

Por su parte el tratamiento con cobertura nuevamente disminuyó los escurrimientos en 55 o/o por lo que se incrementó la infiltración del agua en el suelo, lo que permitió que el valor de la ETA con cobertura fuera 6.33 o/o mayor que sin cobertura. Dicho efecto no impidió que el rendimiento de grano fuera nulo.

#### Erosión hídrica

Las pérdidas de suelo por erosión hídrica en 1980 fueron de 12.63 y 2.66 ton/ha sin y con cobertura de rastrojo, respectivamente. En 1981 la erosión hídrica fue de 16.87 contra 9.05 ton/ha respectivamente. Lo anterior pone de manifiesto lo señalado por Winter (1977) en el sentido de que una cobertura de suelo con rastrojo disminuye la pérdida de suelo pues lo protege de la energía erosiva de la lluvia y al mismo tiempo incrementa la infiltración del agua en el suelo.

#### CONCLUSIONES

1.— Por la distribución de las lluvias, la etapa del llenado de grano fue la más afectada por un déficit hídrico.

2.— El efecto de la cobertura de rastrojo permitió disminuir la erosión hídrica en un 65 o/o y los escurrimientos en un 33 o/o en promedio.

3.— Resaltó la necesidad de opciones que permitan conservar la humedad del suelo más tiempo para aprovechar las lluvias de inicio del ciclo.



# LITERATURA CITADA

Colegio de Postgraduados. 1977. Manual de conservación de suelo y agua. C.P. Chapingo, México. 248 p.

García, E., 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana), U.N.A.M., México. 246 p.

Jugenheimer, R. N. 1981. Maíz; variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semillas. LIMUSA, México. pp. 56-58.

Lombardi, N. F. 1976. Sistemas para determinacao do escoamento, superficial e, estudos do balanço hídrico. Bragantia 35: 15-18.

National Academy of Sciences. 1974. More water for arid lands. Washington, D. C. 121 p.

Norero, S. A. 1984. Apuntes del curso. Modelos Agromicos Hidrociencias. C. P. Chapingo, México. "p. v."

Palacios, V. E. 1978. Respuestas en rendimiento de los cultivos a diferentes niveles de humedad del suelo. Un enfoque metodológico de investigación. Rama de riego y drenaje, C.P. Chapingo, México. 179 p.

Ortiz, V.B. 1982. Estudio experimental sobre la conservación del suelo, la erosión y el escurrimiento. Chapingo, México, UACH. 94 p.

Villalpando, I. J. F. 1984. Taller de agroclimatología. Calera, Zac. México, INIA-CIANOC. "p.v."

Winter, E. J. 1977. El agua, el suelo y la planta. Diana. México. 271 p.

# ENSAYO DE OCHO CLONES DE NOPAL TUNERO EN AGUASCALIENTES, MEXICO<sup>1</sup>

Francisco Gutierrez Acosta<sup>2</sup>

Resumen. Se evaluaron ocho clones de nopal tunero en base a características de la planta y el fruto. No se encontraron diferencias estadísticas entre los clones, y la producción en promedio de cinco años evaluados, de tuna por planta fue de 16.7 a 14.4 ton/ha. con un porcentaje de parte comestible del 63.3% del lóculo.

## INTRODUCCION

El nopal es una planta importante para los habitantes de las zonas áridas y semiáridas, ya que se le puede usar directamente en la alimentación humana por sus frutos llamados tunas y los tallos tiernos como verdura. En Aguascalientes el nopal se encuentra prácticamente distribuido en todo el estado, sin embargo generalmente la población es escasa tendiendo a aumentar hacia la parte norte y noreste.

El objetivo del presente trabajo fue el de identificar los clones sobresalientes en cuanto a la producción de tuna de buen tamaño y calidad.

## REVISION DE LITERATURA

Las cactáceas, son autóctonas del Continente Americano, en el que se les encuentra distribuidas desde el Canadá hasta la Argentina. México, por sus peculiares condiciones de latitud, topografía y clima es el país que alberga, posiblemente, la mayor cantidad de especies, Bravo (1978). En México están representados dos sub-géneros de *Opuntia* que son *Cylindropuntia* y *Platyopuntia*, Bravo (1937), citado por Barrientos y Brauer (1965). Rojas (1961) reporta que el nopal tunero fue bien conocido y empleado por los antiguos mexicanos. Los nahoas denominaban "nochtli" o "nopalli" a las cactáceas de tallos aplanados, añadiendo al radical "nochtli" uno o varios términos que precisaban la clase: "iztacnochtli" (de fruto blanco); "coznochtli" (de fruto amarillo); "xoconochtli" (con fruto ácido) y muchos otros que el habla co-

mún ha modificado. Barrientos y Brauer (1965) indican que las especies tuneras son principalmente: *Opuntia amygdala* (blanca), *Opuntia megacantha* (amarilla), *Opuntia streptacantha* (cardón), *Opuntia ficus indica* (de castilla), *Opuntia robusta* (tápón) y *Opuntia hyptiacantha* (memela). Cruz (1980) establece la caracterización y determina las más sobresalientes en base a: producción de fruta, período de cosecha, grados brix en frutos y peso del fruto. Moreno (1962) indica que para realizar la caracterización de nopal de tuna, se debe basar en: altura de la planta, edad aproximada, largo, ancho y espesor de las pencas, forma y tamaño de las espinas, areólas, gloquidios, fecha de iniciación de brotes vegetativos y otros. Peralta (1983), al estudiar la caracterización de formas de nopal tunero, observó las características de la planta: vigor de la planta, sanidad y plantas en plena producción. Como también las características del fruto; tamaño, grosor de la cáscara, posición de la cicatriz floral en el receptáculo, número de semillas normales y abortivas y contenido de sólidos solubles totales.

Cruz (1980) al trabajar con clones de Copenas encontró que el peso promedio del fruto fue de 123.3 a 95.3 g y para los grados brix de 12.5 a 12.3. Alvarado (1978) observó un valor para grados brix de 15.5 a los 120 días después del amarre del fruto. Robles (1985) encontró que a los 126 días después de la floración fue de 13.84 grados brix. Delgado (1985) citado por Robles (1986) reporta que los sólidos solubles totales oscila entre 9.4 a 16.49. Peralta (1983) al estudiar 14 selecciones de nopal tunero encontró una variación de 16.9 a 13.8 grados brix.

## MATERIALES Y METODOS

Este experimento se estableció en 1972 y la evaluación de producción fue de 1982 a 1986, en el Campo Agrícola Experimental Auxiliar de Sandoval, en el estado de Aguascalientes (22°09' LN y 102°18' LW) con una altitud de 2000 msnm. Su clima se define como BS<sub>1</sub> KW (m) que corresponde

1 Artículo presentado en el Simposio de estrategias de Clasificación y Manejo de la Vegetación Silvestre para la Producción de Alimentos en Zonas Áridas. [Tucson, Arizona, Octubre 12-16, 1987].

2 Francisco Gutiérrez Acosta es investigador del Programa de Fruticultura en el CIFAP-Aguascalientes, INIFAP, SARH, México.



a un clima semi-seco, con lluvias en verano y escasas a lo largo del año, temperatura media anual entre 12 a 18°C, según García (1973). La precipitación varía de 182 y 486 mm; con una media de 363 mm en un período de 10 años (1973 a 1982). Los suelos son del tipo planosol Eútrico, textura migajón arcillo-arenoso y durión o tepetate a menos de 50 cm de profundidad y pendiente del 6%.

Se utilizó un diseño de bloques al azar con cinco repeticiones, parcela experimental de cuatro plantas y un distanciamiento de 4m entre líneas y 3m entre plantas. Los ocho clones evaluados fueron: Copena 1, Copena 12, Copena 13, Copena 14, Copena 15, Copena 16, Copena 17 y Copena 18.

Las variables evaluadas son: altura de la planta, número de cladodios por planta, número y peso del fruto, rendimiento kg/pta, diámetro y grados brix del fruto. Además a una muestra de 10 frutos por clon, se le observó lo siguiente: peso del lóculo y cáscara, número de semillas normales y abortivas, y peso de semillas normales y abortivas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Producción de tuna por planta

La producción de tuna por planta para los cinco años observados de los ocho clones evaluados, en promedio fue de 20.1 ton/ha para la Copena 16 y de 14.4 ton/ha para la Copena 17. Siendo ésta aceptable si se considera la producción regional de 6 ton/ha, (Cuadro 1).

En el Cuadro 2 se presenta el análisis de variación para la producción de tuna por planta, y no se identificó diferencias estadísticas entre los ocho clones evaluados, ya que se encontró la misma respuesta del material a las condiciones del lugar. En base a esto se puede asumir que no hay variación fenotípica entre los ocho clones evaluados.

Cuadro 1.- - Información de los años de producción en promedio de kg de tuna por planta. CIFAP Aguascalientes, INIFAP, SARH, México, 1986.

Material	1982	1983	1984	1985	1986	$\bar{X}$	Ton/ha <sup>1</sup>
C- 1	1.5	38.2	9.3	29.4	13.4	18.3	15.2
C-12	3.9	43.8	10.6	27.7	13.7	19.9	16.5
C-13	2.6	42.7	6.6	26.9	13.3	18.4	15.3
C-14	2.7	49.0	5.8	28.5	13.9	19.9	16.5
C-15	2.9	42.8	8.2	29.3	15.1	19.6	16.3
C-16	3.1	46.8	7.1	29.5	14.4	20.1	16.7
C-17	2.1	39.1	6.7	26.0	13.3	17.4	14.4
C-18	1.8	46.0	6.7	26.5	12.4	18.6	15.4

<sup>1</sup> Se consideró 833 pl/ha.

Cuadro 2.- - Análisis de variación para la producción en promedio de kg de tuna, por planta CIFAP-Aguascalientes, INIFAP, SARH, México, 1986.

Factor de Variación	Grados de Libertad	1982	1983	1984	1985	1986
Bloques	4	9.08	49.93	128.83	28.26	14.28
Tratamientos	7	2.94	68.54	13.12	10.08	3.25
		NS	NS	NS	NS	NS
Error Exp.	28	1.99	70.16	8.01	38.62	14.61
T o t a l	39					
C.V.		56%	19%	37%	22%	27%

### Peso del fruto

El peso del fruto de los ocho clones evaluados, para 1986, fue de 127.6 gr para la Copena 12 a 87.3 gr para la Copena 15. Estos valores son parecidos a los que obtuvo Cruz (1980) con los mismos materiales, (Cuadro 3).

### Parte comestible del fruto

El porcentaje de la parte comestible de la tuna, de los ocho clones evaluados para 1986, fue de, 65.6% para la Copena 17 a 59.5% para la Copena 12. Siendo esta relación aceptable ya que representa mayor porcentaje para el lóculo (parte comestible) en comparación con la cáscara que fue de, 34.1% a 33.5% respectivamente para los clones antes mencionados (Cuadro 3).

### Grados brix del fruto

Los Grados brix (sólidos solubles totales), observados del fruto, de los ocho clones evaluados para 1986, fue de 16.0 para la Copena 17 y Copena 1 a 14.7 para la Copena 16. Esta información coincide con lo reportado por Robles (1986) y Peralta (1983), (Cuadro 3).

Cuadro 3.- - Características del fruto. CIFAP-Aguascalientes, INIFAP, SARH, México, 1986.

Material	Peso del Fruto gr	% Peso del fruto	% Peso de Cáscara	Grados brix
Copena 1	112.4	63.5	36.5	16.0
Copena 12	127.6	59.5	33.5	14.8
Copena 13	125.6	63.2	36.5	15.0
Copena 14	95.5	61.1	39.5	15.0
Copena 15	87.3	61.6	37.9	15.5
Copena 16	100.0	60.1	39.9	14.7
Copena 17	103.2	65.6	34.1	16.0
Copena 18	110.1	61.0	38.8	15.7

#### Epoca de cosecha

La época de cosecha de los ocho clones evaluados fue de los primeros días de julio a los primeros días de agosto, en los cinco años observados. Esto representa una ventaja ya que por lo general en la región se cosecha la tuna del 15 de agosto a septiembre.

#### CONCLUSIONES

1. Los ocho clones de nopal tunero, se comportaron igual en el lugar que se evaluaron.

2. La producción fue aceptable de 20.1 a 14.4 ton/ha si la comparamos con la regional de 6 ton/ha.

3. El porcentaje de parte comestible 61.9% de la tuna de estos clones es aceptable ya que la cáscara representa menor porcentaje 37.0% del peso del fruto.

4. La época de cosecha de los ocho clones en julio, representa una ventaja en comparación con el material que cosecha en agosto y septiembre, actualmente el productor.

#### LITERATURA CITADA

- Alvarado, S.L. 1978. Fisiología y bioquímica del desarrollo del fruto del nopal tunero (Opuntia amyclaea, Tenor). Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México, 13p.
- Barrientos, P.F. y Brauer, H.D. 1965. Mejoramiento genético del nopal. Vida rural en México. 4 p.
- Bravo, H.H. 1978. Las cactáceas de México. Vol.1 2a. ed. Universidad Nacional Autónoma de México, D.F. 743 p.
- Cruz, H.J. 1980. Evaluación de selecciones de nopal tunero (Opuntia sp) en la zona semidesértica del estado de Puebla. Memoria del Octavo Congreso Nacional de Fitogenética. Uruapan, Michoacán, p. 458-471.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana), U.N.A.M., México 246 p.
- Moreno, G.J. 1962. Datos sobre nopales tuneros (Opuntia spp) e introducción al estado de Nuevo León. Tesis Profesional. I.T.E.S.M. México, 85 p.
- Peralta, M.V.M. 1983. Caracterización fenológica y morfológica de formas de nopal (Opuntia spp) de fruto (tuna) en el Altiplano Potosino-Zacatecano. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Aguascalientes. México 88 p.
- Robles, E.F.J. 1986. Crecimiento y desarrollo del fruto (tuna) del nopal (Opuntia ficus-indica (L) Miller) tunero. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Aguascalientes, México. 38 p.
- Rojas, M.P. 1961. Aprovechemos las zonas áridas, cultive nopal tunero. Agronomía. Número 79 I.T.E.S.M. México. 5 p.



245

# UN SISTEMA DE CAPTACION Y APPROVECHAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA, COMO ALTERNATIVA PARA LA PRODUCCION AGRICOLA EN TEMPORAL DEFICIENTE<sup>1</sup>

Ernesto Martínez Meza<sup>2</sup>

Resumen. En Aguascalientes, México se desarrolló el presente trabajo, cuyo objetivo fue captar y redistribuir agua de lluvia, irrigando suplementariamente maíz, frijol y girasol de temporal. Los resultados de rendimiento de grano mostraron incrementos del orden del 386, 312 y 576% respectivamente; el forraje de maíz aumentó 327%. En el aspecto económico los ingresos netos fueron superiores en lo irrigado.

## INTRODUCCION

El agua es uno de los recursos naturales más importantes; pero a la vez, uno de los más limitantes para la producción agrícola en las áreas de temporal de regiones semiáridas; como el caso de la región denominada El Llano en Aguascalientes, México, en donde la lluvia es escasa y errática. En esta zona la precipitación media anual es de 350mm, con una distribución mala para la producción agrícola, pues normalmente se presentan periodos de sequía en las etapas de floración y llenado de grano, que como es conocido son las etapas más críticas para la mayoría de los cultivos en lo que se refiere a sus necesidades de humedad; consecuentemente, año con año los rendimientos disminuyen entre un 60 y 90% dependiendo de lo drástico de la sequía.

Los objetivos de este trabajo fueron evaluar una tecnología de producción de grano y forraje, basada en la captación y redistribución de agua de lluvia, como riego suplementario en la época de mayor demanda en los cultivos de maíz, frijol y girasol. Asimismo conocer el potencial económico del sistema en función de los rendimientos obtenidos.

Gaddes (1970) define el término captación de agua de lluvia como la colecta y almacenamiento de agua en el campo, de escurrimientos superficiales y su uso posterior en irrigación de cultivos.

Turrent (1975) menciona que uno de los factores incontrolables de la producción en temporales críticos es la lluvia.

<sup>1</sup>Documento preparado para el symposium Estrategias de clasificación y manejo de vegetación silvestre para la producción de alimentos en zonas áridas. Tucson, Arizona, octubre 12-16, 1987.

<sup>2</sup>Investigador titular, Productividad de Suelos. INIFAP. Aguascalientes. México.

Velazco (1974) señala que en diferentes regiones del mundo, donde la lluvia es escasa y errática, y además se carece de infraestructura hidráulica se capta y almacena agua de lluvia para disponer de ella en las épocas más secas del año.

Anaya (1976) propuso como alternativa para un mejor aprovechamiento del agua de lluvia en zonas de temporal deficiente, captarla en pequeños bordos y aprovecharla en riego suplementario de cultivos.

Evenari et al (1971) señalan que los sistemas de captación de agua de lluvia, se desarrollaron hace aproximadamente 4000 años, por los habitantes del desierto del Negev en Israel, en donde conducían el agua captada en la laderas, hacia los valles para irrigar sus cultivos o almacenarla en cisternas para consumo humano y animal.

Krantz et al (1978) reportaron que los sistemas de producción en el trópico semiárido, basados en la captación de agua en pequeños tanques, harán más efectivo el uso de agua de lluvia por la posibilidad de riego suplementario, la reducción del riego y el aumento en el rendimiento de los cultivos.

## MATERIALES Y METODOS

El trabajo se desarrolló durante 1986 en Sandovales, Aguascalientes, México. La fecha de siembra fue el 1º de julio para el frijol y el 2 de julio para maíz y girasol. El trabajo se hizo con maquinaria y las densidades de siembra fueron 12, 40 y 6 kg/ha para maíz, frijol y girasol respectivamente.

Las variedades utilizadas fueron: maíz: H-204; frijol: Bayo Madero y girasol: victoria. Todos los cultivos se fertilizaron con el tratamiento 40-40-00 aplicados a la siembra.

Los tratamientos estudiados en cada cultivo fueron: 1) temporal y 11) temporal auxiliado.

Se utilizó un diseño de parcelas apareadas distribuidas en el campo en franjas. La superficie total experimental fue de 1.824 ha. La precipitación durante el periodo junio-octubre fue de 526 mm y el

volumen calculado de agua captada fue de 7300 m<sup>3</sup> aproximadamente. La lámina total aplicada fue de 10 cm distribuida en dos auxilios. (Cuadro 1)

Cuadro 1. Intervalo entre los riegos de auxilio (días) a partir de la fecha de siembra en los cultivos del sistema. Sandoval, Aguascalientes, México. 1986.

Cultivo	1º auxilio	Días de Intervalo	2º aux.	Días de Intervalo
Maíz	14 agosto	42	30-ago.	16
Frijol	12 agosto	42	27-ago.	15
Girasol	12 agosto	41	28-ago.	16

El rendimiento de grano y de forraje se calculó con base en muestreos para cada tratamiento; se tomaron al azar surcos de 10 m de longitud para maíz y girasol, y de 5 m en frijol. El rendimiento se ajustó a kg/ha. El número de muestras en total para frijol y girasol fue de 15 por tratamiento y de 20 para maíz. La época en que se muestreó fue en madurez fisiológica para grano y en estado lechoso-masoso para forraje de maíz.

El análisis estadístico de los rendimientos se hizo por el método de t student para una  $\alpha = 0.05$ .

#### RESULTADOS Y DISCUSION

El criterio, con respecto al intervalo en días, para la aplicación de los riegos suplementarios a partir de la fecha de siembra fue el siguiente: aplicar primer riego cuando los cultivos estuvieran en floración y el segundo en llenado de grano. Sin embargo, estas fechas se modificaron, ya que cuando los cultivos se encontraban en una época de desarrollo vegetativo, se presentó una sequía de alrededor de 40 días, por lo que el primer suplemento de riego se aplicó 22, 12 y 26 días antes de la floración de maíz, frijol y girasol respectivamente, y el segundo en floración, lo cual ocurrió a los 64, 54 y 67 días para los cultivos en el orden mencionado anteriormente. Se considera que esta modificación, no afectó considerablemente los rendimientos, ya que los resultados así lo confirmaron; por el contrario, esta información es importante para trabajos posteriores.

El análisis estadístico de las medias de rendimiento de grano y forraje de los cultivos bajo estudio, nos permite observar que el tratamiento de temporal auxiliado resultó estadísticamente superior en todos los casos, obteniéndose incrementos de 386, 312 y 576% para maíz, frijol y girasol respectivamente, en forraje de maíz el incremento fue de 327%. (Cuadro 2)

En el análisis económico que se realizó para obtener los ingresos netos por unidad de superficie, una vez descontando el costo de cultivo, el tratamiento de temporal auxiliado superó en forma significativa al tratamiento de temporal; que en el caso de frijol y girasol tiene valores negativos. (Cuadro 3)

Cuadro 2. Rendimientos promedio de cultivos y nivel de significancia en el sistema de producción. Sandoval, Aguascalientes, México. 1986.

Cultivo	Rendimiento % kg/ha		
	1) Temporal	11) Temporal auxiliado	% Incremento
Maíz grano	518	2000 *	386
Maíz forraje	721 <sup>a</sup>	2360 <sup>a</sup> *	327
Frijol	281	876 *	312
Girasol	91	524 *	576

\* Significativo  $\alpha = 0.05$

<sup>a</sup> Materia seca

Cuadro 3. Ingreso neto por cultivo en el sistema Sandoval, Aguascalientes, México. 1986.

Cultivo	Ingreso Neto \$ *	
	1) Temporal	11) Temporal auxiliado
Maíz	7,138 <sup>1</sup>	181,888 <sup>1</sup>
Frijol	- 14,781	109,334
Girasol	- 34,246	61,922

<sup>1</sup>) Considerando grano y forraje

\* Pesos mexicanos

#### CONCLUSIONES

En el área de temporal deficiente en Aguascalientes, México; el captar agua de lluvia es importante porque permite dar uno o dos riegos suplementarios, incrementando la producción de grano y forraje en maíz, frijol y girasol.

El tratamiento de temporal auxiliado genera ingresos netos superiores, que desde el punto de vista económico adquieren relevancia para la agricultura de temporal de subsistencia.

Los datos experimentales presentados en este trabajo son de un solo año; sin embargo, nos dan idea de la importancia productiva y económica de este tipo de sistemas de producción, en temporal semiárido.

#### LITERATURA CITADA

- Anaya, G.M. 1976. Optimización del aprovechamiento del agua de lluvia para la producción agrícola bajo condiciones de temporal deficiente. Reunión sobre análisis de los agroecosistemas de México. C.P. ENA. México.



- Evenari, Shanan M. and Tadmor, M.N. 1971. The Negev, The challenge of a desert Harvard press. Harvard University.
- Gaddes, H.J. 1970. Water harvesting in proceeding of the national symposium of water resources use and management. Academy of Sciences, Australia.
- Krantz, B.A. Kampen, J. Virmani, S.A. 1978. Soil and water conservation and utilization for increased food production in the semiarid tropics. Publication prepared for distribution at the 11th International Society of Soil Science. Edmonton, Canada.
- Turrent, A.F. 1975. Evidencia sobre la necesidad de desarrollar una investigación tecnológica multifactorial-integrada para la agricultura de temporal. Escritos sobre la metodología de investigación en productividad de Agrosistemas No. 4 Rama de Suelos. C.P. Chapingo. México.
- Velazco, M.H. 1974. Cosecha de agua de lluvia en regiones áridas. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, serie estudios. México.

## RESUMEN ESPANOL DE PONENCIAS INGLES

### HALOPHYTIC FOOD CROPS FOR ARID LANDS

#### CULTIVO DE HALOFITAS ALIMENTICIAS DE LAS ZONAS ARIDAS

James W. O'Leary

La domesticación de las halófitas podría -- constituir una "nueva" fuente extensiva de agua disponible para la producción de cosechas alimenticias. La alta productividad de valiosos productos agrícolas de las halófitas bajo irrigación -- con agua altamente salina, ya ha sido demostrada, pero los aspectos del manejo suelo/agua de la -- agricultura con agua salada todavía no han sido -- adecuadamente dirigidos y pueden ser la mayor limitación para extender su adopción.

### A HIERARCHICAL CLASSIFICATION OF LANDFORMS: SOME IMPLICATIONS FOR UNDERSTANDING LOCAL AND REGIONAL VEGETATION DYNAMICS

#### UNA CLASIFICACION JERARQUICA DE LAS FORMAS DE TERRENO.

#### ALGUNAS IMPLICACIONES PARA COMPRENDER LA DINAMICA DE LA VEGETACION LOCAL Y REGIONAL.

Steven M. Wondzell, Gary L. Cunningham y Dominique Bachelet

Los análisis de suelos y vegetación en el sitio experimental ecológico de largo plazo "Jornada", han demostrado estrechas relaciones entre -- las comunidades vegetales y las formas del terreno. Las observaciones indican que patrones similares de vegetación existen a lo largo de la división de las partes altas de México, de las -- áreas de cuencas y de pastizales. Un modelo generalizado a nivel de paisaje se presentó para intentar explicar las tendencias de desertificación, produciendo un mosaico vegetacional de arbustos -- y pastizales que ahora se encuentran al sur de -- Nuevo México.

### AN ECOLOGICAL APPROACH TO CLASSIFYING SEMIARID PLANT COMMUNITIES

#### UN ENFOQUE ECOLOGICO PARA CLASIFICAR LAS COMUNIDADES DE PLANTAS SEMIARIDAS.

Richard E. Francis y Earl F. Aldon

Las variables de la vegetación en cobertura foliar, densidad, frecuencia y subsecuentes valores de importancia, fueron usadas en un análisis de conglomerados jerárquicos para cuantificar y clasificar las comunidades de plantas. Como un -- ejemplo de este enfoque, las comunidades de plantas fueron clasificadas en una cuenca semiárida -- en el noroeste de Nuevo México. Este enfoque proporciona una base ecológica cuantitativa para interpretar y monitorear la dinámica del ecosistema (tendencia).

### A FOREST HABITAT TYPE CLASSIFICATION OF SOUTHERN ARIZONA AND ITS RELATIONSHIP TO FORESTS OF THE SIERRA MADRE OCCIDENTAL OF MEXICO

#### CLASIFICACION DE UN TIPO DE HABITAT FORESTAL EN EL SUR DE ARIZONA Y SU RELACION CON LOS BOSQUES DE LA SIERRA MADRE OCCIDENTAL DE MEXICO

Esteban H. Muldavin y Robert L. DeVelice

Un análisis florístico de las comunidades -- forestales climax (tipos de habitat) del sur de Arizona, revelan que de las 51 asociaciones de -- plantas presentes, 22 están restringidas a E.U.A. en la región sur de el Mogollon en Arizona y tienen afinidades florísticas cercanas con los bosques de La Sierra Madre Occidental de México. Estos bosques de baja elevación están caracterizados por los encinos xerófitos dominados y/o pastos de la estación cálida. Un caso de estudio de un tipo de habitat en Arizona y México, indica que la complejidad de las comunidades forestales incrementan ampliamente en el norte de México, como una función de la proliferación de especies de encino y pino. Esto se observa como una ayuda al desarrollar un tipo de clasificación de habitat en México. Una vista general de la metodología de tipos de habitat, se presenta junto con aplicaciones de manejo, con énfasis en la productividad de madera.



A RESEARCH STRATEGY ECOLOGICAL SURVEY: FLORISTICS AND LANDUSE IN THE TAMAULIPAN THORNSCRUB, NORTH-EASTERN MEXICO

UNA ESTRATEGIA DE INVESTIGACION PARA INVENTARIOS ECOLOGICOS: FLORISTICOS Y DE USO DE SUELO EN EL MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO, NORESTE DE MEXICO

Nick Reid, Mark Stafford Smith,  
Peter Beyer-Münzel y Jorge Marroquín

Se ha desarrollado una estrategia de investigación para identificar los efectos ecológicos del manejo y el medio ambiente físico en los matorrales espinosos subtropicales y semiáridos en el noreste de México. La clasificación y la ordenación de los análisis de muestras estratificadas de vegetación, a través de un número pequeño de subregiones climáticas, tipos de sustratos y situaciones topográficas, sugieren que estas variables fueron responsables de diferencias florísticas mayores. La distribución de la mayoría de las especies de plantas estuvo relacionada con la variación del medio ambiente físico. El ordenamiento de las muestras en cada grupo florístico mayor, reveló la evidencia de cambios de vegetación debidos al sobrepastoreo, pero no a los cortes selectivos de madera o leñas.

FOREST INVENTORY AND LANDSAT MSS VEGETATION MAPPING FOR ARIZONA

INVENTARIO FORESTAL Y MAPEO DE VEGETACION CON EL LANDSAT MSS PARA ARIZONA.

J. David Born and Clifford Pearlberg

Un inventario forestal y un proyecto de mapeo de vegetación con el examinador multiespectral Landsat (MSS), fueron combinados para generar estadísticas del recurso forestal y mapas de vegetación para Arizona. Las clases de vegetación natural son mapeadas con información sobre: propiedad, elevación y pendiente. Los estimadores estadísticos fueron: area, volumen, crecimiento y mortalidad, para cada propiedad en el estado.

PLANT GENETIC RESOURCES THREATENED IN NORTH AMERICAN DESERTS: THE FLORUTIL CONSERVATION PROJECT

RECURSOS GENETICOS DE PLANTAS AMENAZADAS DE LOS DESIERTOS DE NORTEAMERICA: EL PROYECTO DE CONSERVACION FLORUTIL.

Gary P. Nabhan,  
Wendy Hodgson y  
Luis Hernández

Científicos de los Estados Unidos de América y México, colaboran actualmente en un banco de datos sobre las plantas amenazadas en los estados fronterizos de ambos países, al cual se ha denominado florutil. El análisis de la información de los archivos Data Base III, ayudarán a determinar cuales plantas amenazadas han sido usadas directamente como productos alimenticios, de fibras, medicinas, ornamentales, etc; usados indirectamente como recursos genéticos para mejoramiento: como afectan estos usos su distribución y abundancia; como las prácticas de manejo afectan esto; si la no utilización sirve de incentivo para su conservación y donde están protegidas estas plantas actualmente in situ o ex situ. En el presente se ha enfocado la atención a especímenes raros de las familias de cactaceae y agavaceae localizadas en los 4 Estados norteamericanos y los seis mexicanos.

CONSERVATION AND DEVELOPMENT OF FOOD AND MEDICINAL PLANTS IN THE SIERRA TARAHUMARA, CHIHUAHUA, MEXICO

CONSERVACION Y DESARROLLO DE PLANTAS ALIMENTICIAS Y MEDICINALES EN LA SIERRA TARAHUMARA, CHIHUAHUA, MEXICO

Robert Bye, Noé Meraz Cruz y  
Carmen Cecilia Hernández Zacarías

Se presentan objetivos y resultados preliminares para un proyecto en la Sierra Tarahumara (norte de la Sierra Madre Occidental), de Chihuahua, México.

El "Quelite" Thelypodopsis bysi (BRASSICACEAE), verdura comestible y endémica de las barrancas de la selva subtropical decidua y la raíz medicinal "chuchupate" Ligusticum porteri (APIACEAE), y el "matarique" Psacalium decompositum (ASTERACEAE), son de importancia local y nacional. Para prevenir la extinción de estas económicamente importantes hierbas, así como para incrementar su uso en la dieta actual, salud y comercio de los indios Tarahumaras.

INCREASING PRODUCTIVITY IN THE MATORRAL OF NORTH-EASTERN MEXICO: DOMESTICATION OF TEN NATIVE MULTIPURPOSE TREE SPECIES

INCREMENTO EN LA PRODUCTIVIDAD DEL MATORRAL DEL NOROESTE DE MEXICO: DOMESTICACION DE DIEZ ESPECIES ARBOREAS DE USO MULTIPLE

R. Foroughbakhch, R. Peñaloza y  
H. Stienen

Se plantaron diez especies nativas de árboles de uso múltiple del matorral de las planicies costeras del noroeste de México, de acuerdo con cuatro bloques aleatorios en monocultivo. Se evaluaron las mediciones de varios parámetros de crecimiento durante tres años. Leucaena leucocephala tuvo el mejor comportamiento mientras que dos Prosopis spp y Helietta parvifolia, la única no leguminosa, no se establecieron bien, debido a problemas bióticos, los cuales surgieron bajo las condiciones de la plantación. Tres Acacia spp y dos Pithecellobium spp (ébano y tenaza) presentaron altas producciones lo cual es de gran interés dado su potencial de uso múltiple, por lo que son las mejores de las diez especies. Estas podrían ser de gran importancia en la rehabilitación de partes gravemente degradadas de matorral, antes de que estas áreas se deterioren a condiciones de desertificación irreversible.

NITROGEN ENRICHMENT EFFECTS ON VEGETATION OF A NORTHERN CHIHUAHUA DESERT LANDSCAPE

EFFECTOS DEL ENRIQUECIMIENTO DE NITROGENO EN LA VEGETACION DE UNA ZONA DEL DESIERTO CHIHUAHUENSE.

Joe M. Cornelius y  
Gary L. Cunningham

En el sitio NSF/LTER JORNADA se llevó a cabo un experimento a gran escala, examinando los efectos del enriquecimiento de un recurso limitante (nitrógeno) a través de un área desértica. Los resultados mostraron un aumento en la cubierta de plantas efímeras y un decremento en la diversidad de especies, en respuesta al incremento del nitrógeno, probablemente debido a cambios en los niveles de disponibilidad de recursos limitantes y disminución de la heterogeneidad en la distribución espacial del nitrógeno del suelo.

REVISED UNIVERSAL SOIL LOSS EQUATION FOR WESTERN RANGELANDS

REVISION DE LA ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO PARA LOS AGOSTADEROS DEL OESTE

M.A. Weltz, K.G. Renard y  
J.R. Simanton

La ecuación universal de pérdida de suelo (cusle) fue revisada para adecuarla a las condiciones de campo encontradas en el oeste de los Estados Unidos. La revisión usa un subfactor de aproximación para evaluar el factor "C" y algoritmos adicionales para describir los factores "LS" y "P".

Se presenta un procedimiento para estimar la biomasa superficial, la biomasa de las raíces en los 100 mm superiores del perfil del suelo de varios tipos de vegetación de agostaderos. Las estimaciones de pérdida de suelo en los agostaderos se hicieron con un amplio rango de valores de factor supuestos, usando la USLE antigua y la revisada. También cada ecuación se usó para estimar la pérdida de suelo y los resultados son comparados con medidas reales de pérdida de suelo hechos en parcelas con lluvia simulada.

OVERPOPULATION, DESERTIFICATION, FAMINE

SOBREPOBLACION, DESERTIFICACION, HAMBRE

M. Anaya Garduño

La desertificación incluye procesos naturales o inducidos. Las naciones pobres sufren los problemas mas grandes de erosión. Es crucial planear apropiadamente el manejo de los recursos naturales a través de tecnología adecuada en términos de corto y mediano plazos. La participación de la comunidad es de gran importancia debido a que la lucha contra la desertificación involucra el mejoramiento de las condiciones de vida en las áreas afectadas por miseria, desempleo y subdesarrollo.



A STRATEGY FOR REVERSING DESERTIFICATION  
UNA ESTRATEGIA PARA REVERTIR LA DESERTIFICACION

Champe Green

La solución al enigma de la desertificación ha eludido a la humanidad al menos por siete mil años, es decir desde los albores de la agricultura. Sin embargo, el reciente progreso de cuatro casos ha traído nueva luz sobre las maneras de aminorar o revertir la desertificación. Un modelo de planeación de manejo holístico ha evolucionado hasta ofrecer tanto a científicos como a nativos de las tribus, una herramienta para verificar la desertificación mientras se mejora la calidad de la vida humana.

HOW DESERTIFICATION AFFECTS NITROGEN LIMITATION  
OF PRIMARY PRODUCTION ON CHIHUAHUA DESERT WATER  
SHEDS

COMO LA DESERTIFICACION AFECTA LA LIMITACION DE  
NITROGENO EN LA PRODUCCION PRIMARIA DE LAS CUEN-  
CAS DESERTICAS CHIHUAHUENSES

Walter G. Whitford,  
James F. Reynolds y  
Gary L. Cunningham

Se hace hipotético que el cambio de pastos amacollados perenes a ecosistemas de arbustos dominantes en el desierto Chihuahuense, han resultado en un cambio de ecosistemas limitados por agua a ecosistemas limitados por nitrógeno-agua. En las áreas de arbustos, el nitrógeno y el agua están concentrados en áreas de terreno bajo arbustos individuales. Estas áreas — de terreno separadas, afectan el enlace temporal entre las fuentes de agua y la disponibilidad de nitrógeno. Cambios de pastizales a áreas de arbustos, resultan con incrementos de variabilidad temporal y espacial de estos recursos esenciales para la producción de planta. Los modelos para predecir la productividad primaria en áreas desérticas deben incluir enlaces entre los modelos mecánicos de nitrógeno y los modelos de transporte y acumulación en escala espacial amplia de materia orgánica.

REVERSAL OF DESERTIFICATION ON THE LOW-SHRUB  
COLO DESERT

COMBATE DE LA DESERTIFICACION EN LOS DESIERTOS  
FRIOS DE ARBUSTOS BAJOS

Warren P. Clary y  
Ralph C. Holmgren

Los desiertos fríos de arbustos bajos, se han usado como agostaderos de invierno para el ganado, desde finales del siglo XIX. Las antiguas prácticas inapropiadas de pastoreo dieron como resultado un severo deterioro. Datos y observaciones en los años setentas y ochentas, sugieren que con las prácticas mejoradas de pastoreo, está ocurriendo una reducción de la desertificación.

A REGIONAL CENTER FOR NEW CROPS AND AGRISYSTEMS  
FOR DRYLANDS IN MEXICO

UN CENTRO REGIONAL PARA NUEVOS CULTIVOS Y AGRO-  
SISTEMAS EN AREAS SECAS DE MEXICO

Kennith E. Foster y  
Robert G. Varady

Virtualmente la mitad de México es árido o semiárido y la mayor parte no es apropiada para la agricultura de riego convencional. La Nación como sea, ha resuelto incrementar la superficie productiva en estas regiones. El éxito requerirá de la cuidadosa selección de cultivos y del desarrollo de sistemas de cultivo innovadores y adaptativos. El establecimiento de un Centro para nuevos cultivos y agrosistemas es una estrategia para demostrar la factibilidad de cultivos y técnicas seleccionadas.

CONVERTING FORAGE TO FOOD WITH CATTLE ON THE  
SANTA RITA EXPERIMENTAL RANGE

TRANSFORMACION DEL FORRAJE EN ALIMENTOS A TRA-  
VES DEL PASTOREO EN LA ESTACION EXPERIMENTAL DE  
SANTA RITA.

S. Clark Martín

Los pastos perennes son las plantas forra-  
jeras más productivas en Santa Rita, aunque ar-  
bustos como el mezquite (*Prosopis juliflora* var.  
*velutina*) y otras plantas anuales, a veces in-  
crementan la calidad forrajera. Las existencias  
razonables y una rotación adecuada y oportuna -  
son esenciales para mantener una producción ele-  
vada.

STRATEGIES FOR ENHANCED PRODUCTION OF BEEF AND  
JOJOBA ON NORTHERN BAJA CALIFORNIA RANGELANDS

**ESTRATEGIAS PARA EL AUMENTO DE PRODUCCION DE CARNE  
Y JOJOBA EN LOS AGOSTADEROS DE BAJA CALIFORNIA  
NORTE**

Alvin L. Medina y  
Jorge Sepulveda Betancourt

Un evaluación económica de masas de jojoba,  
pastoreo vs no pastorea, reveló que pastoreo por  
ganado significamente disminuyó la producción de  
semilla de jojoba. La producción de semilla en  
áreas sin pastoreo fue 1.2 y 2.7 veces más que  
áreas con pastoreo. Tratamientos, como removim-  
iento de vegetación y microcuencas aumentaron la  
producción por 2-2.7 veces más que áreas con pas-  
toreo y sin tratamiento. La exclusión total de  
ganado, además, resultó en una perdida de forraje  
y producción de carne. Estrategias para utilizar  
masas de jojoba por ganado, en base de dos atrib-  
utos de la planta (altura y dosel), se proponen  
para el aumento de carne, jojoba, y otros  
recursos del campo.

OPPORTUNITIES FOR MULTIPLE USE VALUES IN THE EN-  
CINAL OAK WOODLANDS OF NORTH AMERICA

OPORTUNIDADES PARA VALORAR EL USO MULTIPLE EN -  
LOS ENCINARES DE NORTEAMERICA.

Peter F. Ffolliott and  
D. Phillip Guertin

Se describen los valores del uso múltiple  
para las áreas de encinares del suroeste de los  
Estados Unidos de América y Norte de México. Se  
reportan las producciones de madera y forraje,  
así como información sobre el valor de la fauna  
silvestre y de otras alternativas de uso multi-  
ple. También se resumen aspectos relativos a las  
necesidades de investigación para un mayor cono-  
cimiento y manejo adecuados mediante la valora-  
ción del uso múltiple.

AN ANALYSIS OF RUNOFF AND SEDIMENT YIELD FROM  
NATURAL RAINFALL PLOTS IN THE CHIHUAHUA DESERT

UN ANALISIS DEL ESCURRIMIENTO Y LA GENERACION DE  
SEDIMENTO EN PARCELAS CON LLUVIA NATURAL EN EL -  
DESIERTO CHIHUAHUENSE.

Susan B. Bolin y Tim J. Ward

Se analizaron, el escurrimiento y la sedi-  
mentación en pequeñas parcelas con lluvia natu-  
ral en el desierto chihuahuense. No se encontra-  
ron diferencias significativas entre las parce-  
las con arbustos y las parcelas sin arbustos. Es-  
to crea la hipótesis que cualquier diferencia --  
causada por la cubierta no fue detectada debido  
a los bajos niveles de energía de las lluvias na-  
turales. Estos hallazgos implican que las deci-  
siones de manejo para la manipulación de la ve-  
getación deberían incluir información de eventos  
de lluvias con alta energía.



A BASELINE OF SOIL EROSION AND VEGETATION  
MONITORING IN DESERT GRASSLANDS, CHIHUAHUA,  
TEXAS AND NEW MEXICO:

BASES PARA LA EVALUACION DE LA EROSION DEL  
SUELO Y DE LA VEGETACION EN LOS PASTIZALES  
DESERTICOS DE CHIHUAHUA, TEXAS Y NUEVO ME-  
XICO:

John A. Ludwig y William H. Moir

En 1981 se inició una evaluación a gran es-  
cala de los cambios en la vegetación y en el  
suelo de los pastizales áridos del Norte del  
Desierto Chihuahuense, como parte del programa  
contra la desertificación USDA/SEA. Se ubicaron  
cinco áreas de estudio en la Estación Experimen-  
tal Jornada, en Otero Mesa, y en las montañas  
Peloncito en Nuevo México; en el Parque Nacio-  
nal Big Bend en Texas; y en el Rancho La Campa-  
na en Chihuahua, México. Se hicieron mapas de  
la vegetación mediante cuadrantes de 30 m en  
transectos permanentes en esas áreas de estudio.  
Se usó un nivel de alta precisión para determi-  
nar los datos de la evaluación inicial de los  
niveles de la superficie del suelo a lo largo  
de los transectos. En el futuro la actualización  
de los mapas y la remediación de la superficie  
del suelo podrán proporcionar información sobre  
los niveles del cambio. Esa información podrá  
usarse para validar modelos diseñados para pre-  
decir los niveles de erosión y de cambios de la  
vegetación.

DESIGN AND OPERATION OF A WATER HARVESTING -  
AGROSYSTEM

DISEÑO Y OPERACION DE UN AGROSISTEMA DE COSECHA  
DE AGUA

Martín M. Karpiscak,  
Kennith F. Foster y  
R. Leslie Rawles

Se desarrolló un agrosistema para cosechar  
agua para el desarrollo de cultivos en granjas-  
retiradas de la irrigación. La superficie del  
suelo fue conformada y después se distribuyó  
cloruro de sodio con rastrillo en la superficie  
y se compactaron las microcuencas. Plantas ta-  
les como eucaliptos, pinos brutia y de alepo,  
cipres arizónica, duraznos, manzanos, chabaca-  
nos y arbustos salados han tenido un crecimen-  
to exitoso.

USING NATURAL DESERT ECOSYSTEMS AS MODELS FOR  
AGROFORESTRY: THE GRAY, SPINEY REVOLUTION

USO DE ECOSISTEMAS DESERTICOS NATURALES COMO MO-  
DELOS PARA AGROSILVICULTURA: REVOLUCION ESPINOSA  
GRIS

Gary Paul Nabhan

Debido a que los recursos acuíferos de la  
superficie y del subsuelo tendrán una gran de-  
manda en los desiertos norteamericanos, debemos  
considerar con mayor posibilidad la producción  
de alimentos de temporal basada en multicultivos  
de plantas nativas e introducidas. La diversidad  
de formas de vida y la heterogeneidad estructural  
de las comunidades de plantas del desierto, pue-  
den servir como modelos para la Agrosilvicultura.

## English Abstracts of Papers in Spanish

LA IMPORTANCIA DE LAS PLANTAS SILVESTRES PARA LA PRODUCCION DE ALIMENTOS EN MEXICO.

THE IMPORTANCE OF NATIVE PLANTS TO FOOD PRODUCTION

Carlos E. González Vicente

The paper presents general information about the importance of arid zones in México, its extension, population and potential related to food production from wild plants. There are many contributions from desert wild plants to the diet of the Mexican people.

MODELO PARA PREDECIR PRODUCCION DE HOJA DE OREGANO (*LIPPIA BERLANDIERI*) EN POBLACIONES NATURALES EN JALISCO, MEXICO

A MODEL FOR PREDICTING LEAF PRODUCTION OF OREGANO (*LIPPIA BERLANDIERI*) IN WILD STANDS IN JALISCO, MEXICO

J. Rafael Cavazos Doria

Some environmental factors were evaluated - in this study which affect oregano production. The best statistical model found to predict dry-leaf weight is the average canopy as an independent variable. There was no significant correlation between environmental factors as soil characteristics and oregano leaf production.

MANEJO DE PINOS PIÑONEROS PARA LOS PIÑONES  
PINYON PINE MANAGEMENT FOR PINYON NUTS

Elbert L. Little, Jr.

Some suggestions are offered for management of pinyons for the edible seeds or pinyon nuts under multiple use. Mexican species such as *Pinus maximartinezii* merit research in sample plots. It is desirable to utilize forest genetics. The harvest of seeds can be increased. More machinery is needed for shelling the seeds.

INDICE DE DIVERSIDAD DE ESPECIES PARA DETERMINAR TAMAÑO DE MUESTRA EN VEGETACION DE BAJA CALIFORNIA SUR

SPECIES DIVERSITY INDEX TO DETERMINE SAMPLE SIZE OF VEGETATION OF BAJA CALIFORNIA SUR

Ricardo Almeida Martínez,  
Homero Fraga Mancillas,  
Jorge Agúndez

Within six exclosures in the southern part of Baja California, a vegetation inventory was made, utilizing grids of 25m<sup>2</sup> considered as the sample unit. This procedure allowed evaluations of diversity index for the species having in purpose to find a satisfactory level of information. At all cases an ascending level was found, but only two showed satisfactory level of information.

INTRODUCCION AL ESTUDIO DE LAS PLANTAS ALIMENTICIAS DE BAJA CALIFORNIA SUR

INTRODUCTION TO THE STUDY OF THE BAJA CALIFORNIA SUR EDIBLE PLANTS.

Heriberto Parra H.

This study summarizes and systematizes the information on the use and utilization of the wild edible plants of Baja California Sur, Mexico according to Guaycuras and Pericues, Indians of that region as well as the post-missional colonizers. 106 edible plants were listed as result of literature review and personal inquiring which belong to 57 genera of 39 families, Cactaceae and Mimosaceae the most important.

In conclusion the edible plants of Baja California Sur are considered very important new food sources for human consumption. Their adaptation and low water requirement makes them good prospects for agronomic uses that could generate new crops for arid lands.



DIAGNOSTICO DE LA PAPITA GUERA (Solanum spp)  
EN EL ALTIPLANO POTOSINO ZACATECANO, MEXICO

THE DISTRIBUTION OF NATIVE WHITE POTATO (Solanum spp) IN THE POTOSINAN-ZACATECAN HIGHLANDS OF - MEXICO

Soledad Hernández Jabalera

The wild white potato (Papita güera) is a native plant used as food in central Mexico. This study found it's distribution has decreased, there are different species present and there are very few attempts by people to cultivate this plant.

PRODUCCION COMERCIAL DE CACTACEAS AMENAZADAS EN ZONAS ARIAS

COMMERCIAL PRODUCTION OF ENDANGERED CACTI IN ARID ZONES

Guadalupe Malda y Jorge Jiménez

Overcollection of some cacti species has decreased their natural populations. In an ejidal pilot nursery, farmers were compensated for propagating and trading the natural resources. We practice vegetative and sexual reproduction techniques. A population evaluation of the species determined the harvest of seeds and cuttings.

EVALUACION DE LA VARIACION EN FORMAS DE NOPAL (Opuntia spp) TUNERO EN LA ZONA CENTRO DE MEXICO  
EVALUATION OF PRICKLY PEAR (Opuntia spp) FORM AND VARIATION IN THE CENTRAL PART OF MEXICO.

Eulogio Pimienta Barrios,  
Adriana Delgado Alvarado y  
Ricardo Mauricio Leguizano

The evaluation of wild and cultivated prickly pear populations in the Central Zone of Mexico, revealed the existence of large variation. This variability was expressed in terms of morphology of cladodes and fruits; time of fruit ripening; fruit weight and color; proportion of fruit components (peel, pulp, and seeds) and chemical composition of fruit pulp and seeds.

MANEJO Y COMERCIALIZACION DE LA LECHUGUILLA EN ZONAS ARIAS DE TAMAULIPAS

242 MANAGEMENT AND COMMERCIALIZATION OF LECHUGUILLA IN THE ARID ZONES OF TAMAULIPAS, MEXICO

Luis Hernández Sandoval  
Jorge Jiménez Pérez

The lechuguilla is an overexploited resource in Tamaulipas. This study presents management guidelines for both traditional and modern technology. This information will improve both fiber quality and commercialization. The quality of the fiber as "ixtle" can be improved and this will enhance the farmer's income.

CORRECCION DE TORRENTERAS PARA LA PRODUCCION DE FORRAJES EN ZONAS ARIAS

242 WATER HARVESTING FOR FORAGE PRODUCTION IN ARID LANDS

Carlos A. Berlanga Reyes

The purpose of this study was to find ways to manage the run-off water using contour lines, the establishment of desirable forage plants and erosion control. The best results were obtained clearing the land to establish Cenchrus ciliaris in the contour lines and Atriplex canescens on the rest of the areas.

Soil water conservation and land preparation are the best practices to succeed in the re-establishment of forage plants and improve carrying capacity of degraded lands.

MANEJO DE SUELOS SALINOS Y SALINO-SODICOS  
242 SALINE AND SODIC-SALINE SOIL MANAGEMENT

Gustavo J. Lara Guajardo

There are large acreages with saline problems in Mexico. This causes problems in the vegetation management and consequently affects productivity. To improve these conditions, it is necessary to utilize physical and biological methods for the utilization and rehabilitation of these areas.

SISTEMA INTEGRAL DE PRODUCCION AGROPECUARIA  
EN TEMPORAL EN EL LLANO DE AGUASCALIENTES;  
MEXICO.

INTEGRATED SYSTEM OF SEASONAL LIVESTOCK AND  
AGRICULTURE PRODUCTION ON THE PLAIN OF  
AGUASCALIENTES, MEXICO.

S. Hernández, J. Andrade, R. Claveran, F. Gu-  
tierrez, L.M. Macias, S. Martín del Campo, R.  
Ocha, M. Tiscareño, A. Torres, A. Valdez y R.  
Zapata.

A system for seasonal livestock and agricul-  
ture was evaluated based on crops and forage  
production. This was done to improve the self-  
sufficiency of farmers in this region. After  
three years of evaluation the system covered  
the basic food needs for one family.

SISTEMAS DE PRODUCCION EN ZONAS ARIDAS (EXPERIEN-  
CIA EN LATINOAMERICA)

PRODUCTION SYSTEMS IN ARID ZONES (LATINOAMERICAN  
EXPERIENCE)

Lorenzo J. Maldonado Aguirre

This paper describes and names the most im-  
portant agroforestry systems in Latin America.  
They are: Agrosilvicultural, Silvopastoral and  
Agrosilvipastoral.

PROPUESTA METODOLOGICA PARA DETERMINAR LA RELA-  
CION AREA-SIEMBRA-ESCURRIMIENTO EN CULTIVOS DE -  
TEMPORAL

A METHOD TO DETERMINE THE RELATION OF WATER HAR-  
VESTING AREA TO PLANTING AREA ON SEASONAL CROPS

José Villanueva Díaz  
Ignacio Sánchez Cohen  
Hugo A. Velasco Molina

A mathematical model is proposed for "in si-  
tu" water harvesting on crop production in arid  
and semiarid lands. The model integrates the di-  
verse factors of climate, soil and plants. This  
relationship, theoretically satisfies the water  
requirement of the crop.

MANEJO ECOLOGICO DE UN BOSQUE DE PINOS  
PIÑONEROS EN TAMAULIPAS

ECOLOGICAL MANAGEMENT IN A PINYON PINE FOREST  
IN TAMAULIPAS

Humberto Suzán Azpiri y José Antonio Galarza.

Forest mensuration, distribution, seed ger-  
mination, floristic composition and ethnobotanic  
studies and site clasification analysis were de-  
veloped in natural Pinus nelsonii populations.  
The results show density and spatial arrange-  
ments dependent on slope orientation; a very  
strong correlation among allometric variables;  
a multiple use of forest products, and seed  
overcollection in the area where found.

PASTOREO SIMULADO EN TRES ETAPAS VEGETATIVAS DE  
MUHLENBERGIA PORTERI SCRIBN. EX BEAL

SIMULATED GRAZING IN THREE PHENOLOGICAL STAGES  
OF MUHLENBERGIA PORTERI SCRIBN. EX. BEAL

Ricardo Almeida Martínez and  
Gary B. Donart

Nineteen variable measurements were made to  
a group of plants of Muhlenbergia porteri re-  
presenting three phenological stages during the  
first year, and consequently during a second  
year, in order to determine clipping effect.

Multivariate analysis, discriminant analy-  
sis, was utilized to eliminate variables. The  
result was that plant height defined effectively  
the clipped plants when measured at the initial  
vegetative cycle of growth.



POTENCIAL HIDRICO DIURNO Y ANUAL DE PINUS CEMBROIDES ZUCC. Y PINUS DISCOLOR BAILEY AND HAWKES, EN LAS SERRANIAS MERICIONALES DE SAN LUIS POTOSI.

DAILY AND ANNUAL WATER POTENTIAL OF PINUS CEMBROIDES ZUCC. AND PINUS DISCOLOR BAILEY AND HAWKES, IN THE SAN LUIS POTOSI SOUTHERN MOUNTAIN RANGE.

Héctor M. Benavides Meza, Edmundo García Moya.

Water potential ( $\Psi_w$ ) of the pinyon pine species Pinus Cembroides and P. discolor were studied, one day per month for a year under field conditions. P. cembroides has lower values of  $\Psi_w$  than P. discolor, though these differences were not always statistically significant. In addition, it was found a threshold values of  $\Psi_w$ . In P. discolor this value is between -0.9 to 1.1 MPa and for P. cembroides it is between 1.1 to - 1.3 MPa, that caused a stomatal closure and an increment in  $\Psi_w$  in subsequent readings.

UN SISTEMA DE CAPTACION Y APROVECHAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA, COMO ALTERNATIVA PARA LA PRODUCCION - AGRICOLA EN TEMPORAL DEFICIENTE.

HARVESTING AND MANAGEMENT OF RAINFALL AS AN ALTERNATIVE FOR AGRICULTURAL PRODUCTION WITH LIMITED RAINFALL

Ernesto Martínez Meza

This work was carried out in Aguascalientes, Mexico, in order to harvest and distribute the rainfall to irrigate corn, beans and sunflower. The yield results showed increases in grain of 386, 312 and 576% respectively; the forage produced with corn plants increased 327%.

MANEJO INTEGRADO DE LA CUENCA HIDROLOGICA "EL PLATEADO"

INTEGRATED MANAGEMENT IN THE WATERSHED "EL PLATEADO"

Ramón Claverán A.,  
Carlos Sánchez B.,  
Susana Paulín W. y  
Abraham de Alba A.

This work was began to solve desertification problems, using watershed to study energy reserves, flux and exchange rates of energy, water and nutrients. This research integrates man and his relationship with the environment.

ENSAYO DE OCHO CLONES DE NOPAL TUNERO EN AGUASCALIENTES, MEXICO

A STUDY OF EIGHT PRICKLY PEAR CLONES IN AGUASCALIENTES, MEXICO

Francisco Gutiérrez Acosta

Eight Prickly pear clones were evaluated according to plant and fruit characteristics. No statistical difference was found among clones. The average production in the five year study was from 14.4 to 16.7 metric tons per hectare.

BALANCE HIDRICO EN MAIZ DE TEMPORAL EN AGUASCALIENTES, MEXICO

WATER BALANCE ON CORN PRODUCTION WITH LIMITED NATURAL RAINFALL

Miguel Angel Martínez Gamiño

Measurements were made on surface run-off, water erosion and its control, evapotranspiration and corn yield. A layer of 50 ton/ha of straw reduced surface run-off by 33% and 80% water erosion.

The low rainfall during the kernel formation, affected the yield by more than 100%.

## DIRECCION DE ATENDIENTES

## Addresses of Attendees

D. Phillip Guertin  
University of Arizona  
325 Bio Sci E.  
Tucson, AZ 85718

Peter Ffolliott  
SRNR-College of Agriculture  
University of Arizona  
Tucson, AZ 85715

Champe Green  
P.O. Box 7128  
Albuquerque, NM 87194

FELIPE DE JESUS AGREDANO HERNANDEZ  
MORELOS S/N  
TODOS SANTOS, B.C.S

Warren Clary  
Forestry Sciences Lab.  
316 E. Myrtle St.  
Boise, ID 83702

MANUEL LAYSECA TORRES  
APARTADO POSTAL 32-A  
C/AGRICULTURA e/LA PAZ Y MULEGE  
COL BELLANUESTRA  
LA PAZ, B.C.S. CP23070

ABRAHAM ESCOBAR  
INTURBIDE 73  
CRESAZ C.P.  
SALINAS DE HGO. S.L.P.  
C.P. 78600

HERIBERTO ORTEGA P.  
ITURBIDE 73  
CREZAS C.P.  
SALINAS DE HGO. S.L.P.  
C.P. 78600

David R. Patton  
School of Forestry  
P.O. Box 4098  
Northern Arizona University  
Flagstaff, AZ 86011

JESUS ALONSO RASCON  
ALVAROSO 749-A ZONA CENTRO  
ENSENADA, B.C.  
OBREGON 1061-ENSENADA B.C. INIFAP.

JORGE SOSA-CORONEL  
APARTADO POSTAL 3-1019  
MEXICALI, BAJA CALIFORNIA. MEXICO  
INIFAP

David Tongway  
Rangelands Research Center  
CSIRO Division Wildlife and Ecology  
Deniliquin, N.S.W. 2710  
Australia

Dr. Walter Whitford  
Biology Dept  
New Mexico State University  
Las Cruces, NM 88003

Thomas R. Chacon  
P.O. Box 1164  
Grand Canyon, AZ 86023

CARLOS A. BERLANGA REYES  
PERIF. LUIS ECHEVERRIA 1594  
SALTILLO COAH. MEXICO

George Garcia  
7213 Minuteman NE  
Albuquerque, NM 87109

Earl F. Aldon  
2205 Columbia SE  
Albuquerque, NM 87106

William, Moir  
U.S. Forest Service  
Southwestern Region  
517 Gold Ave SW  
Albuquerque, NM 87102

CARLOS GONZALEZ VICENTE  
AV. INSURGENTES SUR NO. 694  
COLONIA DEL VALLE, MEXICO D.F. MEX.

ENRIQUE MERLIN BERMUDEZ  
FELICITAZ ZERMENO NO. 143-A  
HERMOSILLO, SONORA, MEXICO

Reggie Fletcher  
R-3 USDA-FS  
517 Gold Ave SE  
Albuquerque, NM 87102

ROBERTO VIELMA GONZALES  
APARTADO POSTAL A-112  
HERMOSILLO, SONORA MEXICO

CARLOS A. TENA MORELOS  
APDO. POSTAL A-112,  
HERMOSILLO, SON. MEXICO

HUMBERTO SUZAN  
17 y 18 COAHUILA 195-2  
CD. VICTORIA, TAMAULIPAS  
U.C.P. 87040 MEXICO

NOE MERAZ CRUZ  
CREEL. APARTADO POSTAL C.P. 33202  
MEXICO CHIHUAHUA, MEXICO.

ROBET BYE  
JARDIN BOTANICO  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
04510 MEXICO, DF

Dick Francis  
2205 Columbia SE  
Albuquerque, NM 87106

GUSTAVO JAVIER LARA GUAJARDO  
LUIS ECHEVERRIA 1594  
SALTILLO, COAH., MEXICO

LUIS A GONZALEZ LEIJA  
AV. PROGRESO NO. 5  
COYOACAN 0400 DF. MEXICO

MANUEL ANAYA-GARDUNO  
APARTADO POSTAL 91  
CHAPINGO, MEXICO 56230

AVELINO B. VILLA-SALAS  
AV PROGRESO 5  
MEXICO, D.F. MEXICO

DR. FRANK SHUTTS  
CENTRO DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS  
Y TECNOLOGICAS  
UNIVERSIDAD DE SONORA  
HERMOSILLO, SONORA, MEXICO

RAUL VILLARREAL CANTON  
INSURGENTES 694  
MEXICO, D.F. MEXICO

HECTOR M. BENDAVIDES MEZA  
AV. PROGRESO 5  
CAYOACAN, D.F. MEXICO 04110 MEXICO

MARIO A. TREVINO RODRIGUEZ  
APARTADO POSTAL A-112 SUC. A.  
HERMOSILLO SONORA, MEXICO

Ed. F. Wicker  
4118 Attleboro Ct  
Fort Collins, CO 80525

Kenneth G. Renard  
2000 E. Allen Rd  
Tucson, AZ 85719

Mark Weltz  
2000 E. Allen Rd  
Tucson, Az 85719

AL Medina  
2239 W. Manor  
Chandler, AZ 85224

Gary Nabhan  
Desert Botanical Garden  
1201 North Galvin Parkway  
Tucson, AZ 85718

Wendy Hodgson  
123 W. Dobbins  
PHX, AZ 85041

Charles M. Loveless  
240 W. Prospect  
Ft. Collins, CO 80526



JOSE ANTONIO AYALA  
INSTITUTO TECNOLOGICO DE DGO  
F. PRSCADOR 1830 OTE  
DURANGO, DGO. MEXICO

Dr. Dona J. Fowler  
450 W. Cool Drive 252  
Tucson, AZ 85704

GILBERTO SOLIS  
BACANORA 24 COL. FOUISSTE  
HERMOSILLO, SONORA, MEXICO

JOSE CLEMENTE LEON FELIX  
AV. S #8 NORTE - 83600  
CABORCA. SONORA, MEXICO

JULIO GASTELUM  
ZARAGOZA 2010  
SAN LUIS RIO COLORADO, SONORA, MEXICO

CARLOS ROBUS ROBUS  
CENTRO DE ESTUDIOS  
SUPERIORES DEL ESTADO DE SONORA  
KM: 6.J SALIDA SONOITA  
SAN LUIS RIO COLORADO SONORA, MEXICO

HERIBERTO PARRA HAKE  
CARRETERA AL SUR Y SANTIAGO S/N  
C.P. 23050 LA PAZ: B.C.S. MEXICO

JORGE SEPULVEDA BETANCOURT  
1314 W. UNIVERSITY 14  
TEMPE, AZ 85281

PORFIRIO LEOS MARTINEZ  
ROSALES Y OBREGON, EDIF. BANXICO  
3 er PISO, HERMOSILLO, SONORA, MEXICO  
C.P. 83000

VARGAS HERNANDEZ FRANCISCO  
PESQUEIRA Y ZARAGOZA S/N  
MOCTEZUMA SONORA, MEXICO

ESPARZA MAURICIO ARMANDO  
QUIROZ Y MORA Y GTO DEP 6  
H. CABORCA SONORA, MEXICO CP. 83600

Thomas G. Schmeckpeper  
U.S. Forest Service  
Fed. Bldg.  
517 Gold Ave SW  
Albuquerque, NM 87102

GABRIEL HUITRON MARQUEZ  
SARH. GLORIETA EL ALAMO  
CARRETERA A CHAPALA GUADALAJARA,  
JALISCO, MEXICO

JOSE ENRIQUE SIERRA ESPINOSA  
S.A.R.H. CONSTITUYENTES  
112 PONIENETE, QUERETARO, QRO.  
MEXICO

OLVERA MUNOZ BENITO DE JESUS  
AV. HIDALGO 293 QUERETARO QUERETARO,  
MEXICO

ENRIQUE WAGNER  
AGUADORES 7  
CADEREYTA, DE MONTES QRO, MEXICO

DR. JESUS VARGAS CAMPLIS  
CIFAP-TAMAULIPAS  
APLO 172  
RIO BRAVO, TAMAULIPAS

HOMERO FRAGA MANCILLAS  
LORETO 212 BELLAVISTA  
LA PAZ, BAJA CALIF. MEXICO CP 23000

OSCAR H. MORENO R.  
DURANGO 1130 SUR CD OBREGON  
SONORA, MEXICO

UVALLE-BUENO JAIME XAVIER  
ALLENDE 1204 PTE  
CD. OBREGON, SONORA, MEXICO

Ludwig, John  
Rangelands Research Center  
Deniliquin, New South Wales 2710  
Australia

MARIO TISCARENO L.  
FRANCISCO B. MARTINEZ 318  
FRACC. SN. CAYETANO  
AGUASCALIENTES, AGS, MEXICO

RAUL FIMBRES MORENO  
RETAMA 202 NO. 18  
HERMOSILLO, SONORA, MEXICO

Gary Cunningham  
Biology Dept.  
New Mexico State University  
Las Cruces, NM 88003

Steven Wondzell  
Dept. of Biology  
New Mexico State University  
Las Cruces, NM 88003

Joe Cornelius  
Box 3AF  
Biology Department  
New Mexico State University  
Las Cruces, NM 88003

Charles R. Venator  
USDA/FS/AID  
U.S. EMBASSY -MEXICO CITY  
P.O. Box 3087  
Laredo, Texas 78044

Bob Partido  
USDA, Forest Service, Range Mgt.  
517 Gold Ave SW  
Albuquerque, NM 87102

LUIS ANTONIO SEGURA TOVAR  
WASHINGTON 971-8 ote  
MONTERREY NL. MEXICO CP. 64000

DIEGO VALDEZ-ZAMUDIO  
LEOVIGILDO GOMEZ 138  
FRACC. PUESTA DEL SOL  
HERMOSILLO, SONORA MEXICO

ANTONIO CHAVEZ  
VICTORIA 310  
CHIHUAHUA, CHIH. MEXICO

EULOGIO PIMIENTA BARRIOS  
TROPICO 126 FRACC. AEROPUERTO  
SAN LUIS POTOSI, SLP. MEXICO

JOSE VILLANUEVA DIAZ  
MARIANO OTERO 416  
BARRIO TEQUISQUIAPAN SAN LUIS POTOSI  
S.L.P. MEXICO

Elbert L. Little, Jr.  
924 20th St. S.  
Arlington, VA 22202

SALVADOR GODOY AVILA.  
APTO POSTAL 247  
TORREON COAH. MEXICO

ESTEBAN H. MULDAVIN  
P.O. BOX. 3507 UPB  
Las Cruces, NM 88003

DR. HOLGER STIENEN  
FACULTAD DE SILVICULTURA Y MANEJO DE  
RECURSOS RENOVABLES,  
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
A.P. 41, 67700 LINARES N.L. MEXICO

LORENZO MALDONADO  
MORONES PRIETO 205  
COL. B. DEL EDO. MONTERREY NL. MEXICO

RUBEN PENALOZA WAGENKNECHT  
AP 65 CP 6700 LINARES, N.L. MEXICO

RAHIM FOROUGHBAKHCH  
FACULTAD DE SILVICULTURA DE LA U.A.N.L.  
67700 LINARES N.L. APARTADO POSTAL 104  
LINARES N.L. MEXICO.

J. RAFAEL CAVAZOS D.  
MARIANO OTERO 416  
SAN LUIS POTOSI S.L.D. MEXICO

VICTOR M. VALDEZ  
AP. POST 247  
TORREON COAH, MEXICO

DR. NICK REID  
FACULTAD DE SILVICULTURA, UANL  
APDO POSTAL 41  
67700 LINARES NL. MEXICO

J. DAVID BORN  
USDA, Forest Service  
507 25th St.  
Ogden, Utah 84401

Clifford Pearlberg  
Arizona State Land Dept.  
Forestry Division  
1624 W. Adams  
Phx, AZ 85007

R.H. Hamre  
240 W. Prospect St.  
Ft. Collins, CO 80526

JESUS SANCHEZ CORDOVA  
REP. CUBA 524  
COL. PANAMERICANA  
CHIHUAHUA, CHIH, MEXICO CP 31200

JUAN MANUEL CHACON SOTELO  
FO 1 ALDAMZ, CD-MADERA CHIHA, MEXICO

MANUEL PANDO OLIVAS  
RETORUO 16 DE SEPT 9548  
CHIHUAHUA CHIH. MEXICO

SOTERO MUNIZ  
7301 DON TOMAS NE  
ALBUQUERQUE, NM 87109

MELITON TENA VEGA  
VICTORIA 310  
CHIHUAHUA, CHIH. MEXICO

EMILIO GONZALEZ A.  
VICTORIA 310  
CHIHUAHUA, CHIH. MEXICO

David Diaz  
630 Sansome Street  
Range and Watershed  
San Fransico, CA 94111

ALBINO A. GUERRERO BABUN  
RIO DANUBIO 1115 nte CT ESTRELLA  
TORREON, COAH. MEXICO

RICARDO ALMEIDA  
PASEO LOS ALAMOS 301 A  
COL. JACARANDAS  
TORREON, COAHUILA, MEXICO

S. Clark Martin  
4402 E. 6th St.  
Tucson, AZ 85711

















Rocky  
Mountains



Southwest



Great  
Plains

U.S. Department of Agriculture  
Forest Service

## Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station

The Rocky Mountain Station is one of eight regional experiment stations, plus the Forest Products Laboratory and the Washington Office Staff, that make up the Forest Service research organization.

### RESEARCH FOCUS

Research programs at the Rocky Mountain Station are coordinated with area universities and with other institutions. Many studies are conducted on a cooperative basis to accelerate solutions to problems involving range, water, wildlife and fish habitat, human and community development, timber, recreation, protection, and multiresource evaluation.

### RESEARCH LOCATIONS

Research Work Units of the Rocky Mountain Station are operated in cooperation with universities in the following cities:

Albuquerque, New Mexico  
Flagstaff, Arizona  
Fort Collins, Colorado\*  
Laramie, Wyoming  
Lincoln, Nebraska  
Rapid City, South Dakota  
Tempe, Arizona

\*Station Headquarters: 240 W. Prospect St., Fort Collins, CO 80526